



Defence Research and  
Development Canada    Recherche et développement  
pour la défense Canada



# **A summary of proceedings for the Advanced Deployable Day/Night Simulation Symposium**

*Keith K. Niall, Editor*

**Defence R&D Canada**  
Technical Report  
DRDC Toronto TR 2009-121  
July 2009

**Canada**



# **A summary of proceedings for the Advanced Deployable Day/Night Simulation Symposium**

Keith K. Niall, Editor

**Defence R&D Canada – Toronto**

Technical Report

DRDC Toronto TR 2009-121

July 2009

Principal Author

---

Dr. Keith Niall

Defence Scientist, Advanced Interface Group

Approved by

---

Dr. Justin Hollands

Head, Human Systems Integration Section

Approved for release by

---

K. C. Wulterkens

for Chair, Document Review and Library Committee

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, as represented by the Minister of National Defence, 2009

© Sa Majesté la Reine (en droit du Canada), telle que représentée par le ministre de la Défense nationale, 2009

## Abstract

---

The Advanced Deployable Day/Night Simulation (ADDNS) Technology Demonstration Project was initiated to design, develop, and deliver transportable visual simulations that jointly provide night-vision and high-resolution daylight capability. The project includes research and development on deployable display technologies for realistic day and night training operations, extends the knowledge of human factors with night vision devices, and the ability to represent dangerous or extreme scenarios for day and night operations in general. On November 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> 2007 the Advanced Deployable Day/Night Simulation Technical Demonstration Project held a symposium at Defence Research Development Canada in Toronto. Many contributions were made by professionals in the fields of human factors, image generation, projection technologies, and photogrammetry. The abstracts of papers presented at the symposium are in this technical report, in both official languages.

The intent of this effort is to aid operational readiness by advancing the visual simulation capabilities of training simulators so that they can be deployed for mission rehearsal. This objective can be achieved by developing high-resolution, multi-spectral visual simulation capabilities that integrate advancements of laser projection technology, and physics-based modelling of night vision devices with terrain representations that can incorporate reconnaissance data.

## Résumé

---

Le Projet du simulateur déployable avancé pour la vision de jour et de nuit (ADDNS : projet de démonstration de technologie) prévoit la conception, le développement et la livraison d'un simulateur transportable qui fournira à la fois une capacité de vision nocturne et une capacité d'affichage diurne de haute résolution. Ce projet comprend des travaux de recherche et de développement sur la technologie des systèmes d'affichage déployables pour des opérations d'entraînement réaliste de jour et de nuit et augmente les connaissances de l'ergonomie relativement aux appareils de vision nocturne ainsi que la capacité de représenter des scénarios dangereux ou extrêmes pour les opérations de jour et de nuit en général. Les 13 et 14 novembre 2007, les responsables du Projet du simulateur déployable avancé pour la vision de jour et de nuit ont tenu un symposium à Recherche et développement pour la défense Canada – Toronto. De nombreuses présentations ont été faites par des professionnels dans les domaines suivants : ergonomie, production d'images, technologies de projection et photogrammétrie. Les résumés des présentations qui ont été faites pendant le symposium se trouvent dans le présent rapport technique, dans les deux langues officiels.

L'oeuvre présent vise à améliorer l'état de préparation opérationnelle en perfectionnant les capacités de simulation visuelle des simulateurs destinés à l'entraînement de sorte qu'ils puissent être utilisés pour les répétitions en vue d'une mission. La réalisation d'un tel objectif passe par le développement de capacités de simulation visuelle multi spectrale à haute résolution intégrant les progrès réalisés dans les domaines de la technologie de projection laser, et de la modélisation des

dispositifs de vision nocturne basée sur la physique avec des représentations de terrain qui pourraient comprendre des données de reconnaissance.

## Executive summary

---

### A Summary of proceedings for the Advanced Deployable Day/Night Simulation Symposium:

Keith K. Niall, ed. ; DRDC Toronto TR 2009-121; Defence R&D Canada – Toronto; July 2009.

**Introduction:** The Advanced Deployable Day/Night Simulation (ADDNS) Technology Demonstration Project was initiated to design, develop, and deliver transportable visual simulations that jointly provide night-vision and high-resolution daylight capability. The project includes research and development on deployable display technologies for realistic day and night training operations, extends the knowledge of human factors with night vision devices, and the ability to represent dangerous or extreme scenarios for day and night operations in general. On November 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> 2007 the Advanced Deployable Day/Night Simulation Technical Demonstration Project held a symposium at Defence Research Development Canada in Toronto. The key note speaker for the symposium was Mary Kaiser from NASA/Ames. There were four sessions, projection technologies, image generation, human factors and photogrammetry.

Two sessions were held on November 13<sup>th</sup> 2007, projection technologies and image generation. The projection technologies session was chaired by Dr. Keith Niall (DRDC Toronto), the presenters were Mr. Francis Picard (INO), Mr. Michel Doucet (INO), and Mr. Jeff Clark (Renaissance Sciences Corporation). Dr. Ming Hou (DRDC Toronto) acted as session chair for the image generation session. Robert Wolfe (Serenica Corp.), Ray Obidowski (Array Systems Computing Inc.), and Christine Covas (Air Force Research Laboratory) presented papers during the image generation session.

The last two sessions, human factors and photogrammetry were held on November 14<sup>th</sup> 2007. Dr. Jocelyn Keillor (DRDC Toronto) was the session chair for human factors; presentations were made by Dr. James Gaska (Link Simulation Training), Professor Michelle Gauthier (CAE Professional Services), Professor Robert Allison (Centre for Vision Research, York University) and Professor Don Donderi (Human Factors North). The session chair for photogrammetry was Dr. Richard Wildes (York University); Mr. Vitaly Zholudev (Department of Computer Science, York University), Mr. X. Zhu (Neptec Design Group), and Dr. Paul Thomas (Topaz Technologies) presented during this session.

**Results:** The ADDNS symposium allowed sharing of current research in the fields of human factors, projection technologies, image generation, and photogrammetry. Professionals were able to communicate their current findings and research with others in related fields of expertise. The symposium also educated attendees about the different technologies occurring around the world today. Visual systems for current simulators have been limited by sufficient resolution for operators to perform a full range of tactical manoeuvres; similarly, they have not enabled training and rehearsal for night operations. Moreover, the information available in geographic databases may be limited in currency and availability. Advances in image projection, image generation, and photogrammetric technologies have made it possible to address some of these deficiencies.

## Sommaire

---

### **A summary of proceedings for the Advanced Deployable Day/Night Simulation Symposium:**

**Keith K. Niall, éd.; DRDC Toronto TR 2009-121; R & D pour la défense Canada – Toronto; juillet 2009.**

**Introduction :** Le Projet du simulateur déployable avancé pour la vision de jour et de nuit (ADDNS : projet de démonstration de technologie) prévoit la conception, le développement et la livraison d'un simulateur transportable qui fournira à la fois une capacité de vision nocturne et une capacité d'affichage diurne de haute résolution. Ce projet comprend des travaux de recherche et de développement sur la technologie des systèmes d'affichage déployables pour des opérations d'entraînement réaliste de jour et de nuit et augmente les connaissances de l'ergonomie relativement aux appareils de vision nocturne ainsi que la capacité de représenter des scénarios dangereux ou extrêmes pour les opérations de jour et de nuit en général. Les 13 et 14 novembre 2007, les responsables du Projet du simulateur déployable avancé pour la vision de jour et de nuit ont tenu un symposium à Recherche et développement pour la défense Canada – Toronto. Mary Kaiser, de la NASA/Ames, a été l'oratrice principale du symposium. Il y a eu quatre séances : technologies de projection, génération d'images, ergonomie et photogrammétrie.

Deux séances ont eu lieu le 13 novembre : technologies de projection et génération d'images. La séance sur les technologies de projection a été présidée par Keith Niall (RDDC Toronto), et les présentations ont été données par Francis Picard (INO), Michel Doucet (INO) et Jeff Clark (Renaissance Sciences Corporation). Ming Hou (RDDC Toronto) a présidé la séance sur la génération d'images. Robert Wolfe (Serenica Corp.), Ray Obidowski (Array Systems Computing Inc) et Christine Covas (Air Force Research Laboratory) ont donné des exposés pendant la séance sur la génération d'images.

Les deux dernières séances, sur l'ergonomie et la photogrammétrie, ont eu lieu le 14 novembre 2007. Jocelyn Keillor (RDDC-Toronto) a présidé la séance sur l'ergonomie. James Gaska (Link Simulation Training), Michelle Gauthier (Services professionnels, CAE), Robert Allison (Centre for Vision Research, Université York) et Don Donderi (Human Factors North) ont donné des présentations. La séance sur la photogrammétrie a été présidée par Richard Wildes (Université York); Vitaly Zholudev (Département d'informatique, Université York), X. Zhu (Neptec Design Group) et Paul Thomas (Topaz Technologies) y ont donné des présentations.

**Résultats :** Le symposium sur le ADDNS a permis d'échanger sur les travaux de recherche actuels dans les domaines de l'ergonomie, des technologies de projection, de la génération d'images et de la photogrammétrie. Les professionnels ont été en mesure de communiquer leurs conclusions actuelles et les résultats de leurs recherches avec d'autres personnes de domaines d'études connexes. Le symposium a également permis d'informer les participants des différentes technologies qui existent partout dans le monde. Les systèmes visuels des simulateurs ont été incapables de fournir une résolution suffisante pour permettre aux pilotes d'effectuer toute la gamme des manœuvres tactiques, ni de fournir les capacités d'entraînement et de répétition pour

les opérations de nuit. Les progrès réalisés dans les technologies de la projection d'images, de la génération d'images et de la photogrammétrie ont permis de remédier à certaines de ces lacunes.

This page intentionally left blank.

# Table of contents

---

Abstract .....	i
Résumé .....	i
Executive summary .....	iii
Sommaire .....	iv
Table of contents .....	vii
List of figures .....	x
Preface .....	xii
1 .... Agenda .....	1
1.1   Advanced Deployable Day Night Simulation (ADDNS) Symposium November 13 <sup>th</sup> 2007 .....	1
1.2   Advanced Deployable Day Night Simulation (ADDNS) Symposium November 14 <sup>th</sup> , 2007 .....	2
2 .... Key note address .....	3
2.1   Creating Day and Night: Past, Present and Future .....	3
2.1.1   Act I: Day and Night .....	3
2.1.2   Act II: Day and Night .....	5
2.1.3   Act III: Day for Night .....	5
2.1.4   Act III: Day for Night .....	7
2.1.5   Act V: Day in Night .....	8
2.1.6   Simulation and Evaluation .....	9
3 .... Projection Technologies .....	13
3.1   Development of a DVI-compatible VGA projector engine based on flexible reflective analog modulators (FRAM) .....	13
3.2   Brightness and contrast of images projected by laser based video projectors .....	17
3.3   Physics based modeling and simulation of light sources .....	20
4 .... Image generation .....	21
4.1   Integration of a deployable CIGI-based IG in an existing simulation .....	21
4.2   Advances in scalable generic image generator technology for the Advanced Deployable Day/Night Simulation (ADDNS) Project .....	23
4.3   Detection threshold of visual displacement in a networked flight simulator .....	25
5 .... Human Factors .....	30
5.1   Evaluation of the spatial and temporal resolution of digital projectors for use in full-field flight simulation .....	30
5.2   A spatial cognition paradigm to assess the impact of night vision goggles (NVGs) on way-finding performance .....	33
5.3   Psychophysics of night vision device halo .....	35

5.4	Effects of screen resolution and training variation on a simulated flight control task.....	38
6....	Photogrammetry .....	39
6.1	Video-to-reference image indexing .....	39
6.2	AVS LIDAR for detecting obstacles inside aerosol .....	45
6.3	Experimental validation of an NVD parametric model .....	47
7....	Technologies .....	50
7.1	Développement d'un engin de projection de format VGA basé sur les modulateurs analogues réflectifs flexibles (FRAM) et compatible avec le standard DVI.....	50
7.2	Brillance et contraste des images projetées par des projecteurs vidéo à laser .....	54
7.3	Modélisation et simulation de sources lumineuses.....	57
8....	Génération d'images .....	58
8.1	Intégration à une simulation existante d'un générateur d'images déployable fondé sur une interface commune de générateur d'images.....	58
8.2	Avancement de la technologie des générateurs d'images génériques évolutifs dans le cadre du projet de simulation déployable avancé pour la vision de jour et de nuit (ADDNS).....	60
8.3	Seuil de détection du déplacement visuel dans un simulateur de vol maillé en réseau .....	62
9....	Facteurs humain .....	68
9.1	Évaluation de la définition spatiale et temporelle des projecteurs numériques utilisés en simulation de vol plein champ.....	68
9.2	Paradigme de cognition spatiale pour l'évaluation de l'influence du port de lunettes de vision nocturne sur la performance en matière de repérage .....	71
9.3	Psychophysique de l'observation de halos dans les LVN .....	73
9.4	Effets de la variation de résolution d'écran et de vitesse d'entraînement sur une tâche de pilotage simulée.....	76
10..	Photogrammétrie.....	78
10.1	Indexation d'images vidéo d'après des images de référence.....	78
10.2	Lidar AVS pour la détection d'obstacles à l'intérieur d'aérosols.....	85
10.3	Validation expérimentale d'un modèle paramétrique de LVN.....	87
References	.....	90
10.4	Creating Day and Night: Past, Present and Future .....	90
10.5	Development of a DVIcompatible VGA projector engine based on Flexible Reflective Analog Modulators (FRAM).....	91
10.6	Brightness and contrast of images projected by laser based video projectors.....	91
10.7	Detection threshold of visual displacement in a networked flight simulator .....	91
10.8	Video-to-reference image indexing .....	92
Annex A ..	Authors' Biographies.....	94
A.1	Francis Picard .....	94

A.2	Michel Doucet .....	94
A.3	Jeff Clark .....	94
A.4	Robert Wolfe .....	94
A.5	Ray Obidowski .....	95
A.6	Christine Covas .....	95
A.7	James Gaska .....	95
A.8	Avi Parush .....	95
A.9	Robert Allison .....	96
A.10	Don Donderi .....	96
A.11	Vitaly Zholudev .....	96
A.12	X. Zhu.....	97
A.13	Paul Thomas .....	97

## List of figures

---

Figure 1.... A collage of flight simulators, past and present. Counter-clockwise from the upper left: (a) the Link General Aviation Trainer; (b) the B747-400 simulator at NASA Ames' Crew-Vehicle Systems Research Facility; (c) the Antoinette Trainer; and (d) Link's Celestial Navigation Trainer. ....	4
Figure 2.... NASA Ames' Visual Flight Attachment system (c. 1971). A video camera (initially black-and-white, later color) was mounted at the rail-based tracking system shown on the right. The camera was "flown" over the terrain model board via instructions from the simulator cab. The inset shows an example of the imagery displayed to the pilot, in this case for a landing approach to the aircraft carrier. ....	7
Figure 3.... Three views of Comet Tempel 1 provide a comparison of visible light (left), inverse video (middle), and infrared imagery. ....	8
Figure 4.... An "active psychophysics" model of inner-loop control [11]. ....	11
Figure 5.... FRAM arrays with a membrane thickness of 300 nm. ....	14
Figure 6.... 4000x1 FRAM array.....	15
Figure 7.... Packaged 480x1 FRAM array .....	15
Figure 8.... The projector engine and part of the optical test bench.....	16
Figure 9.... Schematic description of the method.....	18
Figure 10.. Mean threshold amplitudes in meters for three simulated distances and two smoothing conditions. The circle represents the no smoothing enabled condition and the square represents the 1 s smoothing condition. Error bars represent the actual computed standard error of the mean. ....	27
Figure 11.. Percentage of correct responses out of fifteen trials for the two smoothing conditions averaged across all subjects and simulated distances (each point represents 225 data points). The black circle represents the no smoothing condition and the white circle represents the 1 s smoothing condition. ....	27
Figure 12.. Mean threshold amplitudes in arcmin for three simulated distances and two smoothing conditions. Circles represent no smoothing enabled condition and squares represent the 1 s smoothing condition. Error bars represent the actual standard error of the mean.....	28
Figure 13.. Example Database Entry. The left panel shows an original orthoimage. The right panel shows the automatically selected regions of interest with overlaid geometric symbols (circle, ellipse, square, triangle) highlighting a quadruple corresponding to a single database entry. ....	43
Figure 14.. Example Video Probe. The top panel shows a single frame of a flyover of a portion of the orthoimage shown in Figure 1. The middle panel shows an image mosaic of the flyover video. The bottom panel shows the automatically selected	

regions of interest with overlaid geometric symbols (circle, ellipse, square, triangle) highlighting the correspondence to the database entry in Figure 1. ....	44
Figure 15.. Barrettes de FRAM avec une membrane de 300 nm d'épaisseur. ....	51
Figure 16.. Barrette de FRAM 4000x1 .....	52
Figure 17.. Barrette de FRAM 480 x 1 en boîtier. ....	52
Figure 18.. Le module optique intégré à la station de test équipée d'une carte à pointes conçue sur mesure. ....	53
Figure 20.. Amplitudes moyennes de seuil, en mètres, pour trois distances simulées et deux conditions de lissage. Le cercle représente la condition où il n'y a pas de lissage et le carré, la condition où il y a un lissage d'une seconde. Les barres d'erreur représentent l'erreur type réelle calculée.....	64
Figure 21.. Proportion de bonnes réponses sur quinze essais pour les deux conditions de lissage pour lesquelles on a calculé la moyenne en fonction de tous les sujets et de toutes les distances simulées (chaque point représente 225 points de données). Le cercle noir représente la condition où il n'y a pas de lissage et le cercle blanc, la condition où il y a un lissage d'une seconde. ....	65
Figure 22.. Amplitudes moyennes de seuil, en minutes d'arc, pour trois distances simulées et deux conditions de lissage. Le cercle représente la condition où il n'y a pas de lissage et le carré, la condition où il y a un lissage d'une seconde. Les barres d'erreur représentent l'erreur type réelle calculée.....	66
Figure 23. Exemple d'une entrée de la base de données. À gauche, une orthoimage d'origine. À droite, les régions d'intérêt sélectionnées automatiquement, sur lesquelles se superposent des symboles géométriques (cercle, ellipse, carré triangle) mettant en évidence un quadruplet qui correspond à une entrée de la base de données. ....	83
Figure 24. Exemple d'un échantillon vidéo. En haut, un cliché individuel du survol d'une partie de l'orthoimage représentée à la figure 1. Au centre, une mosaïque d'images de la vidéo aérienne. En bas, les régions d'intérêt sélectionnées automatiquement, sur lesquelles se superposent des symboles géométriques (cercle, ellipse, carré triangle) mettant en évidence la correspondance avec l'entrée de la base de données représentée à la figure 1.....	84

## Preface

---

Realistic and immersive simulations of land, sea, and sky are requisite to the military use of visual simulation for mission planning. Until recently, the simulation of natural environments has been limited first of all by the pixel resolution of visual displays. Visual simulation of those natural environments has also been limited by the scarcity of detailed and accurate physical descriptions of them. Our aim has been to change all that. To this end, many of us have labored in adjacent fields of psychology, engineering, human factors, and computer science. Our efforts in these areas were occasioned by a single question: how distantly can fast-jet pilots discern the aspect angle of an opposing aircraft, in visual simulation? This question needs some elaboration: it concerns fast jets, because those simulations involve the representation of high speeds over wide swaths of landscape. It concerns pilots, since they begin their careers with above-average acuity of vision, as a population. And it concerns aspect angle, which is as much as to say that the three-dimensional orientation of an opposing aircraft relative to one's own, as revealed by motion and solid form. The single question is by no means simple. It demands a criterion for eye-limiting resolution in simulation. That notion is a central one to our study, though much abused in general discussion. The question at hand, as it was posed in the nineteen-nineties, has been accompanied by others. Questions of the visibility of vehicles and features of the landscape (air-to-ground issues) have taken precedence over questions of the speed and direction of other aircraft (air-to-air issues). Other questions have arisen about the visibility and comprehensibility of landscapes seen by new spectra (issues of night vision and infrared imagery) as well as questions of the geographic fidelity of simulation in synoptic view (issues of photogrammetry and mapping). All this will enable us to see better in simulation. (The answer to the original question, by the way, is more than a couple of nautical miles, but the answer will be elaborated elsewhere. Cf. the chapters by Covas et al, and Gaska et al, on this theme.)

The present volume began as the proceedings of a two-day symposium hosted by Defence Research and Development Canada (the Advanced Deployable Day/Night Symposium, November 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup>, 2007, in Toronto). The background for the work lies in a long-standing collaboration between Defence Research and Development Canada – Toronto, and the Arizona facility of the U.S. Air Force Research Laboratory. We document a number of new technologies, and also methods for their evaluation. One may ask the benefit of developing advanced technologies, when often governments can procure simulation and display technologies 'off the shelf'. We have gathered many interested parties from industry and academe, as can be told from the many affiliations of the authors in this volume. Through our efforts, we believe we have succeeded in nudging North American industry in a new direction. Several of our concerns – high-resolution projection and night-vision simulation serve as examples – were once considered 'niche markets'. That phrase was meant shorthand for technologies as yet unprofitable for exploitation. It's not a phrase that would aptly be applied to these areas any longer. We did predict that the course of industrial development would fill some gaps in technology, and generally we have been rewarded, with progress in distributed computing for simulation, and with the development of small and reliable solid state lasers for light sources. This volume is a condensed compilation of our own efforts, and their unified representation. Alternate technologies do exist in healthy competition with these, of course, and we remain more attentive than dogmatic about such new possibilities.

Industrial production is unlike engineering is unlike experimental psychology. What an art it is, then, to balance these things. It would be an exaggeration – it could be called a pragmatic exaggeration – to claim they can be complementary in the business of simulation. Balancing them has been one of the pleasures of this enterprise, which does not end with the present volume. Instead there are many directions open for the future. Here are some favorites: the development of a four-colour projection system, the experimental evaluation of sensory substitution for image fusion, and the development of full atmospherics for night vision simulation. The first idea is to extend traditional projector systems, which depend on three lights such as red, green, and blue to develop a full gamut of display colours in simulation. The addition of a fourth channel in the near-infrared would enable the use of night vision devices in a simulator – given careful attention to the simulation of environmental reflectances in the near infrared. Currently there are several display systems that are being developed along these lines. The second idea is to use sensory channels to carry new scenes of the same multiplicity or complexity, where a display is meant to represent the appearance of non-visible parts of the spectrum, as well as the visible scene. The use of haptic devices, and the fused representation of scenes in the true thermal range, are examples that have been put forward, and which could well be elaborated in future. The third idea is that variations in appearance due to clouds and moisture are even more important to night vision and infrared sensing than such variations are within the ordinarily visible range. The development of full models of these variations, based on physical principles, is then proportionally important to the realism of night vision simulation. Such an effort may sound fairly abstract, until you want to find your way about when the weather has turned. The latter theme is developed in chapters by Clark et al and by Zhu, Church, and Labrie in this volume. As a philosopher once prefaced his book: may others come along and improve on this.



# 1 Agenda

---

## 1.1 Advanced Deployable Day Night Simulation (ADDNS) Symposium November 13<sup>th</sup> 2007

0800 – 0900	Pre-Symposium Meet and Greet (All)
0900 - 0905	Welcome and Admin/Safety Notices (Keith Niall)
0905 - 1000	<b>Keynote address: Creating day and night: Past, present and future</b> <u>Mary Kaiser</u> - NASA/Ames
Session: Projection Session Chair: Keith Niall	
1000 - 1040	<b>Development of a DVI-compatible VGA projector engine based on flexible reflective analog modulators (FRAM)</b> <u>Francis Picard</u> *, François Duchesne*, Michel Jacob*, Carl Larouche*, Carl Vachon* & Keith Niall** *INO; ** DRDC Toronto
1040 - 1120	<b>Brightness and Contrast of Images Projected by Laser Based Video Projectors</b> <u>Michel Doucet</u> *, Mélanie Leclerc*, Francis Picard* & Keith Niall** *INO; ** DRDC Toronto
1120 - 1135	Break
1135 - 1215	<b>Physics based modeling and simulation of light sources</b> <u>Jeff Clark</u> , Brett Chladny, Brad Colbert & Karl Mathia Renaissance Sciences Corporation
Session: Image Generation Session Chair: Ming Hou	
1215 - 1255	<b>Integration of a deployable CIGI-based IG in an existing simulation</b> <u>Robert Wolfe</u> & Tony Ghoman DRDC Toronto
1255 - 1400	Lunch
1400 – 1440	<b>Advances in scalable generic image generator technology for the Advanced Deployable Day/Night Simulation (ADDNS) Project</b> <u>Ray Obidowski</u> , Rajesh Jha & Andrew Taylor Array Systems Computing Inc
1440 – 1520	<b>Detection threshold of visual displacement in a networked flight simulator</b> <u>Christine Covas</u> *, James Gaska**, Lt Megan Shamp*, & Byron Pierce* *Air Force Research Laboratory; **Link Simulation and Training

## 1.2 Advanced Deployable Day Night Simulation (ADDNS) Symposium November 14<sup>th</sup>, 2007

<p>Session: Human Factors Session Chair: Jocelyn Keillor</p>	
0900 – 0940	<p><b>Evaluation of the spatial and temporal resolution of digital projectors for use in full-field flight simulation</b>  <u>James Gaska</u>*, George Geri*, Marc Winterbottom** &amp; Byron Pierce**            *Link Simulation and Training; **Air Force Research Laboratory</p>
0940 – 1020	<p><b>A spatial cognition paradigm to assess the impact of night vision goggles (NVGs) on way-finding performance</b>            Michelle Gauthier* &amp; <u>Avi Parush</u>**            *CAE Professional Services Canada; **Carleton University, Human Oriented Technology Laboratory</p>
1020 – 1035	Break
1035 – 1115	<p><b>Psychophysics of night vision device halo</b>  <u>Robert Allison</u>*, Tracey Brandwood*, Margarita Vinnikov*, James Zacher*            Sion Jennings**, Todd Macuda**, Paul Thomas*** &amp; Stephen Palmisano****            *Centre for Vision Research, York University; **Institute for Aerospace Research, National Research Council of Canada; ***Topaz Technologies; ****School of Psychology, University of Wollongong</p>
1115 - 1155	<p><b>Effects of screen resolution and training variation on a simulated flight control task</b>  <u>D. Donderi</u>*, Keith Niall**, Karyn Fish &amp; Benjamin Goldstein            *Human Factors North; **DRDC Toronto</p>
<p>Session: Photogrammetry Session Chair: Richard Wildes</p>	
1155 – 1235	<p><b>Video-to-reference image indexing</b>  <u>Vitaly Zholudev</u> &amp; Richard Wildes            Department of Computer Science and Engineering and the Centre for Vision Research, York University</p>
1235 - 1330	Lunch
1330 – 1410	<p><b>AVS Lidar for detecting obstacles inside aerosol</b>  <u>X. Zhu</u>, P. Church &amp; M. Labrie            Neptec Design Group Ltd.</p>
1410 – 1450	<p><b>Experimental validation of a NVD parametric model</b>  <u>Paul Thomas</u>*, Sion Jennings**, Todd Macuda**, Robert Allison*** &amp; Richard Homsey***            *Topaz Technologies; ** Institute for Aerospace Research, National Research Council of Canada; *** Centre for Vision Research, York University</p>
1450 – 1500	<p><b>Closing remarks</b>            Keith Niall</p>

## 2 Key note address

---

### 2.1 Creating Day and Night: Past, Present and Future

Mary Kaiser

*Human Factors Research & Technology Division of NASA/Ames*



I was delighted to be invited to delivery the keynote address at the Advanced Deployable Day/Night Simulation (ADDNS) Symposium because I knew the other speakers would present fascinating talks on state-of-the-art physics-based night-vision simulation, ultra-high resolution display technologies, advances in registering video imagery with geographic databases, refined tools and techniques to measure performance in operational scenarios, and the ADDNS system itself. I realized that I could add relatively little to the technical discussion of the latest advances in these domains. Nonetheless, I hoped that I could play the role of Janus, the two-headed Greek god who looked to the past as well as the future, and ensure that the symposium members considered how the history of day/night simulation might inform our future endeavors. In this chapter, I will summarize my historical overview and the insights I believe we can glean from the road already traveled.

I began my review of the prior art with a quotation from the first chapter of Genesis: "And God said, Let there be light: and there was light. And God saw... that it was good. And God divided the light from the darkness. And God called the light Day, and the darkness He called Night." I hoped the audience was amused by the reference (and not offended – readers should feel free to substitute their preferred creation account). But moreover, I hoped the audience would recognize that even this allegorical account touches on several important aspects of creating/simulating visual worlds: the quality of the resulting product; the feasibility and "share-ability" of the simulation methodology; and the criteria used to evaluate the quality of the simulation. With these three touchstones in hand (Product, Methodology, and Evaluation Criteria), we embarked on an overview of "Day and Night Simulation in Five Acts."

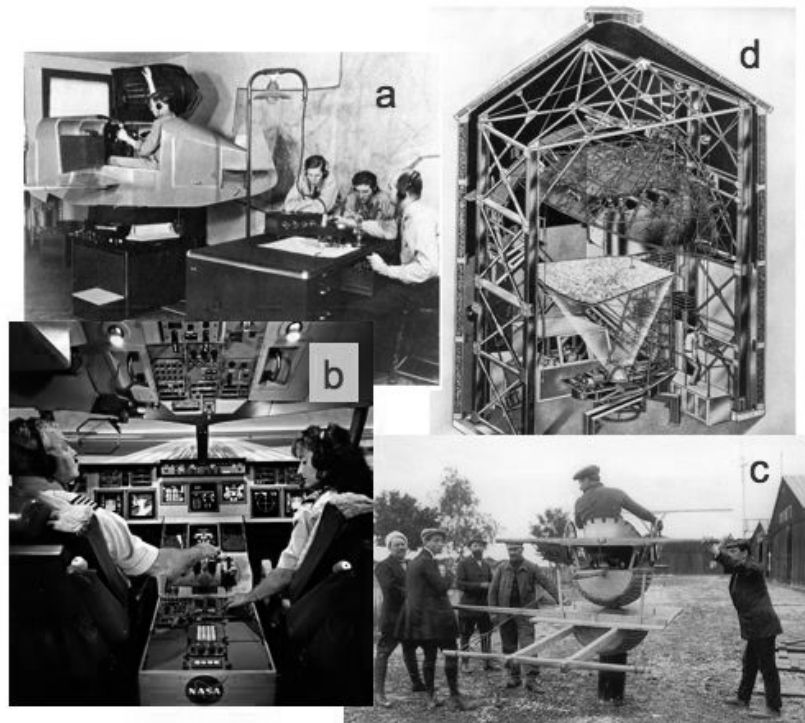
#### 2.1.1 Act I: Day and Night

Ultimately, the simulation community would like its technologies to support both daylight and nighttime conditions with equal fidelity. Historically, systems have not possessed such flexible capabilities. One might suggest, tongue in check, that the Link General Aviation Trainer (the infamous "Blue Box" used to train over a half-million pilots and aviators during and after World War II) was equally adept as

simulating day and night; but that is simply because, as an instrument-conditions trainer, it simulated contact displays for neither (Figure 1a).

It wasn't until the 1990s that simulators could meet the visual systems criteria for FAA Level D approval (i.e., "Daylight, dusk, and night visual scenes with sufficient scene content to recognize airport, the terrain, and major landmarks around the airport and to successfully complete a visual landing." [1]. By mid-decade, 54 such systems were operational [2] (for an enlightening comparison, see CAT's 2007-2008 Flight Simulator Census of over 1,100 full-flight simulators [3]). It is worth noting that computer graphics technologies were able to meet the FAA's dusk/night visual system requirements ("...4,000 light points for night and dusk scenes") years before they were capable of achieving the daylight benchmark (full color presentation, scene content comparable in detail to that produced by 4,000 edges or 1000 surfaces); calligraphic (vector) devices were capable of generating the requisite point lights, but the edges/surfaces required for daylight scenes required later-generation raster technologies.

Current simulator visual systems, such as Flight Safety International's VITAL VIIIi (Figure 1b), greatly exceed these graphics generation requirements. Interestingly, the FAA did not heighten these criteria when they last revised its Advisory Circular on Airplane Simulator Qualification (AC Number 120-40C); this revision has been in draft form since 1995 [4]. Thus, despite the lack of a regulatory driver, simulators have advanced their day/night scene-generation capabilities, incorporating advances in computer graphics and display technologies.



*Figure 1. A collage of flight simulators, past and present. Counter-clockwise from the upper left: (a) the Link General Aviation Trainer; (b) the B747-400 simulator at NASA Ames' Crew-Vehicle Systems Research Facility; (c) the Antoinette Trainer; and (d) Link's Celestial Navigation Trainer.*

### 2.1.2 Act II: Day and Night

Before possessing the capability and flexibility computer graphics systems afford, the simulation community developed elegant (and not so elegant) approaches to visual scene generation. Typically, these visual scenes were limited in scope (e.g., providing horizon displays to aid with attitude-control training) and specific to daylight or nighttime conditions.

The value of simulation-based training was recognized virtually at the dawn of aviation. In 1910, an article in *Flight International* stated, "The invention, therefore, of a device which will enable the novice to obtain a clear conception of the workings of the control of an aeroplane, and of the conditions existent in the air, without any risk personally or otherwise, is to be welcomed without a doubt." [2]. And, in fact, innovative aviators were putting these words to deed. The Sanders Teacher and the Antoinette Trainer (a.k.a. the "apprenticeship barrel" – Figure 1c) were both introduced that same year, each providing the student pilot with rudimentary "hands-on" exposure to the mapping between control input and change in aircraft attitude.

Not all simulators focused on pilotage skills. To aid WW II bomber crews, Link developed the Celestial Navigation Trainer (Figure 1d). This elegant (if not especially compact) trainer recreated with night sky with 379 point-light "stars" embedded in a dome that could rotate and translate to reflect changes in time and aircraft position. Further, a screen mounted under the fuselage could display terrain projections for training on recognizing navigational landmarks and bombing targets [5].

The Celestial Navigation Trainer's creative use of divergent display technologies (i.e., both a "planetarium" dome and film projectors) reminds us that the simulation community often draws upon advances in other disciplines to advance our own. Nowadays, the most obvious contributions for visual systems are drawn from the computer graphics and displays community. Still, it is informative to examine other domains that have influenced past simulation technologies. In our next act, we will focus on techniques, tricks, and tweaks gleaned from cinematography and theme-park rides.

### 2.1.3 Act III: Day for Night

Filming motion pictures or television shows at night is logistically difficult and expensive. Consequently, cinematographers developed what has been termed "Day for Night" (DFN) filming techniques (also called "La Nuit Americaine" or "American Night," because the early developers were American filmmakers working on limited-budget productions).

Simply stated, DFN is the process of filming in the daytime a scene that occurs at night. The effect of nighttime is accomplished both by the pattern of lighting and by the use of special lenses (typically blue tint) and/or underexposure levels (typically 2-3 f-stops) to darken the scene and alter its hue. There are additional heuristics (e.g., shoot under tree-branch shadows to create the illusion of moonlight, avoid excessive amounts of sky in the frame), but the technique involves more art than science, and the resulting quality remain unknown until the film is developed.

In fact, experts in the field often disagree about the effectiveness of the application. Some practitioners praise David Lean's "Lawrence of Arabia" (1962) as a paragon of DFN shooting (e.g., [www.digitallyobsessed.com](http://www.digitallyobsessed.com) raves that the film's "day for night scenes look realistic and possess outstanding shadow detail"); others contend it is one of the worst examples, at least among films with production budgets greater than my yearly civil servant salary (as Mark Smith comments on [www.cinematography.net](http://www.cinematography.net), "Lawrence of Arabia has some DFN which perhaps asks us to suspend a little too much disbelief"). In fact, the unusual nature of the scenery being "simulated" (the craggy desert landscape

under full-moon illumination – an environment often described as "otherworldly") makes it difficult for the average viewer to render a valid fidelity judgment.

Actual day-for-night filming is gradually being displaced with computer-based post-production processing techniques that achieve similar effects. The processing software affords several advantages, including allowing the filmmaker to iteratively adjust the DNF effects and to apply different adjustments to different areas of the frame (e.g., greater darkening to the sky). The "cost" of migrating to a post-production methodology is the lost of real-time implementation; for cinematographers, this cost is zero – DNF is virtually never applied to live broadcasts. For the simulation community, however, real-time implementation is a requirement – virtually all of our "broadcasts" are "live."<sup>1</sup>

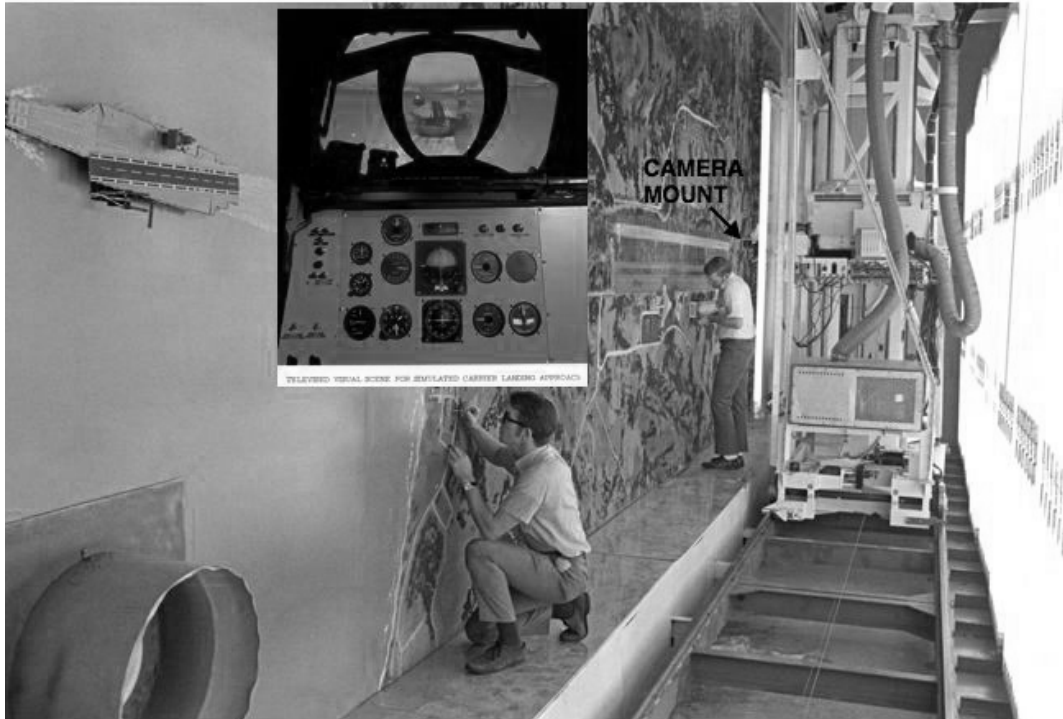
The simulation community also shares technological challenges (and solutions) with the amusement park industry. One prominent example of this is the increased use of motion platforms, initially developed for flight simulation applications, in theme rides. Park managers recognize that motion platforms provide compelling vestibular cues with a minimum cost of valuable staging space. When properly integrated with a visual display, the resulting immersive experience is stunning (e.g., the "Soarin' Over California" at Disney's California Adventure theme park). Further, park managers (like simulator users) appreciate the flexibility motion platforms afford. Just as NASA Ames' Vertical Motion Simulator can shift its simulation mode from Space Shuttle to rotorcraft with a swap-out of cabs and platform reprogramming, Paramount's Great American was able to "re-theme" its motion-based Action FX Theater from a "Days of Thunder" car-racing experience to "Stan Lee's 7th Portal 3D Simulation Experience" (the nature of which I'm at a loss to explain, even having experienced it myself).

Prior to motion platforms, theme rides employed a "transport the rider along a fixed track in a staged area" technique. These "Dark Rides" emerged in the early 20th century with "Tunnel of Love" and "Adventure Train" rides, and likely reached their pinnacle of sophistication in the Disney parks. "Peter Pan's Flight," installed as an original attraction in 1955, remains one of the Anaheim park's most popular rides. Even today, Disney continues make major investments in "Dark Ride" attractions (e.g., the recently refurbished "Space Mountain" and the newly opened "Finding Nemo Submarine Voyage," whose track just happens to be under water).

For over a decade starting in the late 1960s, the flight simulation community at NASA Ames embraced a visual-scene generation technology that borrowed both cinematic and Dark Ride techniques and tricks. Our Visual Flight Attachment (VFA) used intricate model boards and a mechanical tracking system to "fly" a video camera over terrains and airfields. The image was then transmitted to the pilot in the motion-based simulator cab. Figure 2 shows the VFA and the resulting image for a landing approach to the model board's aircraft carrier.

---

<sup>1</sup> A notable exception to real-time visual scene generation was Link's Variable Anamorphic Motion Picture (VAMP). In this commercial aircraft simulator, full-color, 70-mm films were taken of nominal approach, landing, and taxi operations. The VAMP could simulate limited deviations from the recorded trajectories by utilizing two methods of image processing: (a) subsampling the area of the film frame to correspond to the aircraft's pitch and heading, and (b) optically warping the image with anamorphic lenses to simulate the aircraft's roll. While the advantages of such a visual system are apparent (e.g., high scene resolution and fidelity), the limitations are equally striking. Because only a limited number of filmed sequences were available, pilots became familiar with them and started uses extraneous cues to aid their pilotage (e.g., using highway traffic to "time" their approach trajectories). Further, pilots learned to null the optical distortion to correct their flight path errors. Clearly, such strategies do not generalize to actual flight environments.



*Figure 2. NASA Ames' Visual Flight Attachment system (c. 1971). A video camera (initially black-and-white, later color) was mounted at the rail-based tracking system shown on the right. The camera was "flown" over the terrain model board via instructions from the simulator cab. The inset shows an example of the imagery displayed to the pilot, in this case for a landing approach to the aircraft carrier.*

Late in its service, the VFA was adapted for a series of simulated night studies by adding runway lighting to the model board. But just as cinematographers often discover during DNF shooting, unanticipated artifacts resulted. Most notably, the runway lights tended to "bloom" on the video image, creating false cues to distance (i.e., the runway appeared closer than it should during final approach). One of the VFA engineers [6] designed a dynamic lighting system that modulated the voltage fed to the lights as a function of distance from the camera; this innovation provided an effective mitigation against the blooming artifact. Clearly, Ames engineers can be just as clever as Disney's Imagineers.

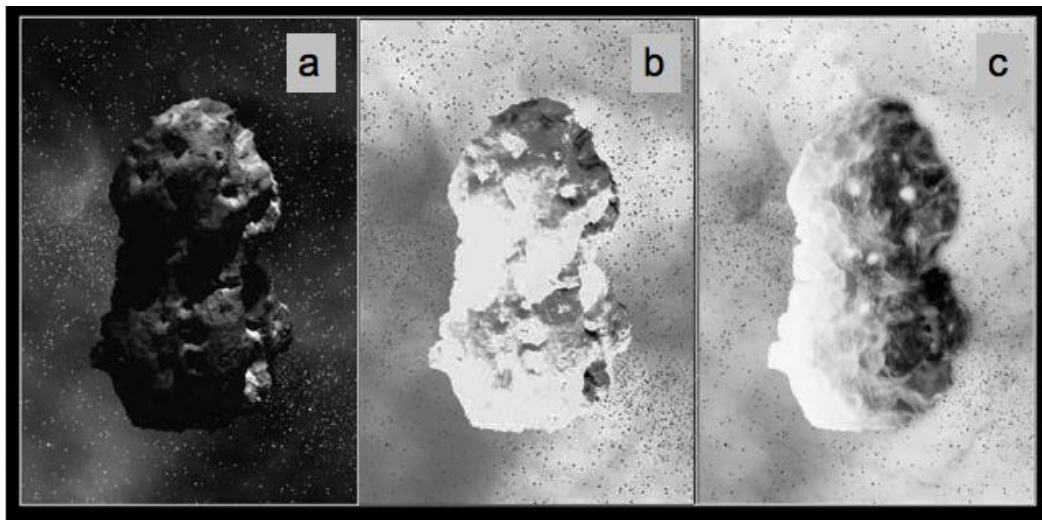
#### **2.1.4 Act III: Day for Night**

As challenging as simulating natural night conditions can be, even more daunting is simulating the visual imagery generated by night vision devices (NVDs), most notably image intensifying (I2) and infrared (IR) sensors. The research presented by others at this symposium provides testament to the advances that have transpired in physics-based sensor-imagery simulation in the past decade, and provides much greater insight into the current state-of-the-art that I could ever hope. So what I shall focus on instead is a simulation technique from decades past, when physics-based models were simplistic (or non-existent) and tended to overwhelm our graphic systems' real-time processing capabilities. In this primitive research environment of the distant past (c. 1985), we turned in desperation to inverse video as a technique for IR simulation.

Inverse video (a.k.a. "reverse" video or "reversed-polarity" video) simulation method simply takes a monochrome video image and reverses its polarity (i.e., black pixels are rendered white, etc.). Because

this is a computationally trivial transformation, even the most underpowered video board can handle a real-time feed. The resulting image, of course, portrays none of the scene's actual temperature or radiance properties; it is simply a "negative" of the visible light image. The question one must ask, then, isn't why inverse video doesn't work better as a simulation of IR imagery; the real question is: why does it work at all?

Consider the images of Comet Tempel 1 shown in Figure 3 (as a NASA employee, I am required to include at least one space-related image per paper, gratuitous or not). The left frame shows a visible light image, the center frame shows the same image with reversed polarity, and the right frame shows the IR image. If we were to perform pixel-based analyses, the greatest (albeit negative) correlation would be being the left and middle images – a perfect -1.0. The correlation of the right image with the middle one would be in the neighborhood of 0.6; there is an equal degree of correlation between the right image and the left, although (once again) this correlation is negative.



*Figure 3. Three views of Comet Tempel 1 provide a comparison of visible light (left), inverse video (middle), and infrared imagery.*

However, this mathematical analysis (at least the magnitude of correlation) does not match our psychological impression. Perceptually, the middle image appears much more similar to the one on the right than on the left. And the right image appears similar to the middle image, but very different from the left image. Clearly, our perceptual criteria for similarity are different from our mathematical one. Likely, we are relatively insensitive to negative correlations (as anyone who's tried to match a photograph to its proper match among a pile of negatives can attest). Further, it seems that the IR and inverse-polarity images both disrupt our typical feature-recognition schema and force us to engage in alternative, strategy-driven image interpretation. At some level, both IR and inverse-polarity imagery share a "different-ness"; this quality affords the inverse video simulation technique some limited training utility.

### **2.1.5 Act V: Day in Night**

Actually, many additional NASA-supplied space images were used in this section of my presentation, but I'm not including them here because they suffer in the color-to-monochrome translation. Instead, I encourage readers to peruse the lovely Quicktime panoramas Hans Nyberg has assembled from imagery collected during the Apollo missions (<http://www.panoramas.dk/moon/mission-apollo.html>). One of the

most striking aspects of these lunar landscapes is how "Day" and "Night" co-exist in a single scene. Due to the lack of atmospheric diffusion and attenuation, lighting is exceptionally harsh; shadows are utterly black. Lawrence of Arabia's moonlit desert crags may be called otherworldly, but the Moon's barren craters truly are: these ambient illumination conditions are truly alien to our terrestrially evolved visual system.

In order to perform tasks effectively in space environments, astronauts need to train in high-fidelity simulations of those environments. To date, only a few efforts have focused on simulating the visual conditions. Jim Maida's group at JSC has developed lighting models to aid training for Shuttle EVA tasks (where, in addition to dealing with harsh illumination, astronauts must deal with 90-minute day/night cycles). Maida and his colleagues have also applied their models to simulate what external cameras will capture during the Shuttle's launch and main tank separation [7], and have investigated whether augmented-reality displays can aid control of the Shuttle's remote manipulator arm when the ambient lighting degrades depth and distance cues [8].

NASA's current Vision for Space Exploration calls for an ongoing human presence on the Moon beginning in the 2020's. If we are going to live and work effectively in the lunar environment, it will be critical to ensure that we can simulate its visual characteristics for training and planning exercises. I invite my colleagues in the simulation community to engage their expertise toward this next challenging domain of visual scene simulation.

## **2.1.6 Simulation and Evaluation**

Our five-act review has focused on two of the three touchstones of simulation: the methodologies used to create the simulation and the resulting product. We now turn to the third touchstone: evaluating the simulation quality. In my Genesis example, the resulting "Day" and "Night" were deemed "Good" by a single (albeit highly respected) evaluator. In the simulation community, even today, significant weight can be placed on the "goodness" judgment of a single esteemed evaluator, be it a test pilot, astronaut, or multi-starred general (none of whom, technically, is God or even godlike... despite rumors to the contrary).

The Genesis evaluation process can also be criticized for allowing the designer – not a terribly objective party – to judge the product's effectiveness. The designer's lack of objectivity is not due simply (or only) to their personal investment in the project. In addition, their intimate knowledge of the simulation's intended purpose can prevent them from evaluating the product with the "naive" eye of the user. The Genesis example also points to the most critical aspect of evaluation: what is the function of the world we've created? In order to determine whether a simulation is of sufficient fidelity, we must first understand the function it must support.

For filmmakers, the world they create is there to support the story they wish to tell. Any cinematic technique that is used to simulate conditions in that world is acceptable so long as it does not overly tax the audience's willing suspension of disbelief and thereby "yank them out of the story."

For theme-ride designers, the world is there to support the adventure of the ride. Generally, it is difficult to tell a complex story in the course of the ride (as both Stan Lee and the early designers of Disney's "Pirates of the Caribbean" discovered); rather, the goal is to provide a global sense of experience (e.g., hang gliding in "Soarin' Over California" or rocket riding in "Space Mountain") or to immerse the rider in

the key scenes of a familiar tale (e.g., Disney's "Pinocchio's Daring Journey" and "Peter Pan's Flight"). So long as the rider enjoys and "gets" the experience, the simulated world has achieved its purpose.<sup>2</sup>

For the training simulation community, the evaluation bar is set higher. Our goal is to ensure that the skills and strategies acquired in the simulated world will generalize to performance in the real world. How, then, do we evaluate the quality of the simulation to determine whether this goal is achieved?

Similar to filmmakers and ride designers, our community utilizes subjective evaluations from expert raters. Such subjecting ratings, in fact, still play a role in FAA certification processes [1, 4]. However, these expert evaluators are typically (and properly) users rather than designers, and they are asked to rate the degree of simulation between the simulation and the actual vehicle or system. On the positive side for our community, a clear standard (i.e., the real-world vehicle or system) can be provided; on the negative side, it is still uncertain what criteria the evaluator employs in making a judgment of perceived similarity.

A second class of evaluation employed by the simulation community is based on measuring operational performance. If we can establish performance criteria (and acceptable levels thereof), we can access similarity of operators' performance in the simulator to their performance with the actual vehicle or system. Also, we can evaluate the extent to which operational training generalizes from simulator to real-world performance. The limitation of this evaluation methodology is its cost (extensive real-world performance must be conducted and evaluated), and the fact that it can only be applied as a post-hoc evaluation: we need an existing simulator to evaluate.

Ideally, our community would like to be able to establish objective metrics of simulator quality and fidelity. Such metrics can then be applied both to the evaluation of existing systems and to the development of design requirements for future systems. I now consider two areas where such objective metrics could be established: image quality evaluation of physics-based modeling and simulation; and psychophysics-based evaluation of visual systems.

Following my talk at the symposium, Richard Wildes asked for examples of where physics-based simulation is inadequate. In principle, a complete physics-based simulation would be fully adequate. But, of course, even with modern computational capabilities, it is not possible to employ complete physical models. Rather, we model those aspects that critically impact the visual simulation. So it's the question is not whether to start with physics-based modeling; the question is when one can stop the modeling process – when is the image that results from the model perceptually equivalent to the true image?

Assuming that we can assemble a set of true images that adequately samples the visual world, we can examine observers' ability to discriminate between the true and simulated images. Alternatively, we can apply a human vision model such as the Spatial Standard Observer [9] to measure this discriminability without the need to perform the tedious psychophysical assessments.

Where psychophysics is needed is to develop the general visual system requirements – and the best psychophysics to use is active psychophysics. Sweet has developed a useful taxonomy that maps potential visual depth cues (e.g., convergence, binocular disparity, motion parallax, linear perspective, occlusion) to the relevant component of the visual system (i.e., the image generator, the display, or both), and determines whether or not veridical cues are provided [10]. In the case of the display component, the

---

<sup>2</sup> As already suggested, designers are not always the best judge of whether the simulation is successful. Disney's Imagineers originally designed "Peter Pan's Flight" as a first-person theme ride; that is, the rider was Peter Pan. Audiences loved the ride, but would frequently ask, "Where was Peter? We never saw him!" Finally, park managers conceded that riders were not "getting" the first person perspective, and added an Audio-Animatronic Peter in 1983.

quality of depth cueing can vary as a function of the display type (e.g., collimated screens do not provide proper motion parallax cues due to pilot head movements, but head-tracked stereo displays can).

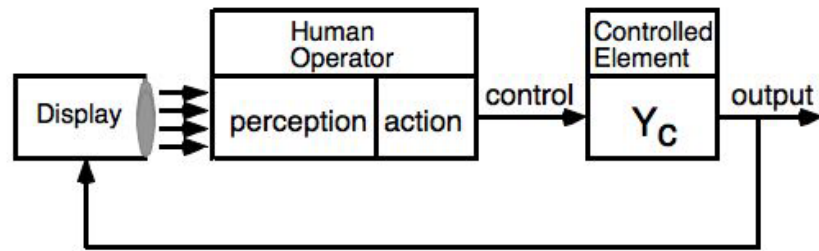


Figure 4. An "active psychophysics" model of inner-loop control [11].

The next step in the process is to determine, for a given operational task, what visual cues are required for success execution of the inner-loop control task (see Figure 4). One can then map the operational training needs into simulator design requirements, recognizing that these requirements may be task specific. For example, mid-air refueling will likely impose different visual requirements (e.g., near-field depth cues) than open-sky target acquisition (e.g., high resolution and wide fields of view). Given our current simulation technology, the goal is not so much to design The Perfect Simulator, but rather to enable a cost-effective match of requirements and design.

At some level, this task-specific approach to simulator design may seem to put us back into the barrel with Antoinette's apprentices. I would argue, however, that the sophistication of our current simulation technologies allows us to build cost-effective systems that are, in fact, fully sufficient for wide classes of tasks. Still, we must recognize that even FAA-certified full-mission simulators have less-than-desired fidelity for some phases of flight (e.g., taxi and ramp operations).

I believe, therefore, that the best lessons to be learned from the history of flight simulation (and related domains) is one that was taught in Antoinette's trainer: maintaining a proper balance. But the balance our community seeks is among cost, flexibility, and fidelity: how do we best exploit available technologies to design affordable simulators that can simulate the widest range of task scenarios at the requisite level of fidelity? It is a challenging undertaking, which is why I was pleased to be surrounded by such impressively able colleagues at the ADDNS symposium.

This page intentionally left blank.

## 3 Projection Technologies

---

### 3.1 Development of a DVI-compatible VGA projector engine based on flexible reflective analog modulators (FRAM)

Francis Picard<sup>†\*</sup>, François Duchesne\*, Michel Jacob\*, Carl Larouche\*, Carl Vachon\*, and Keith Niall\*\*

*\*INO, Québec City*

*\*\*Defence Research and Development Canada-Toronto*

*†Presented paper (photograph below)*

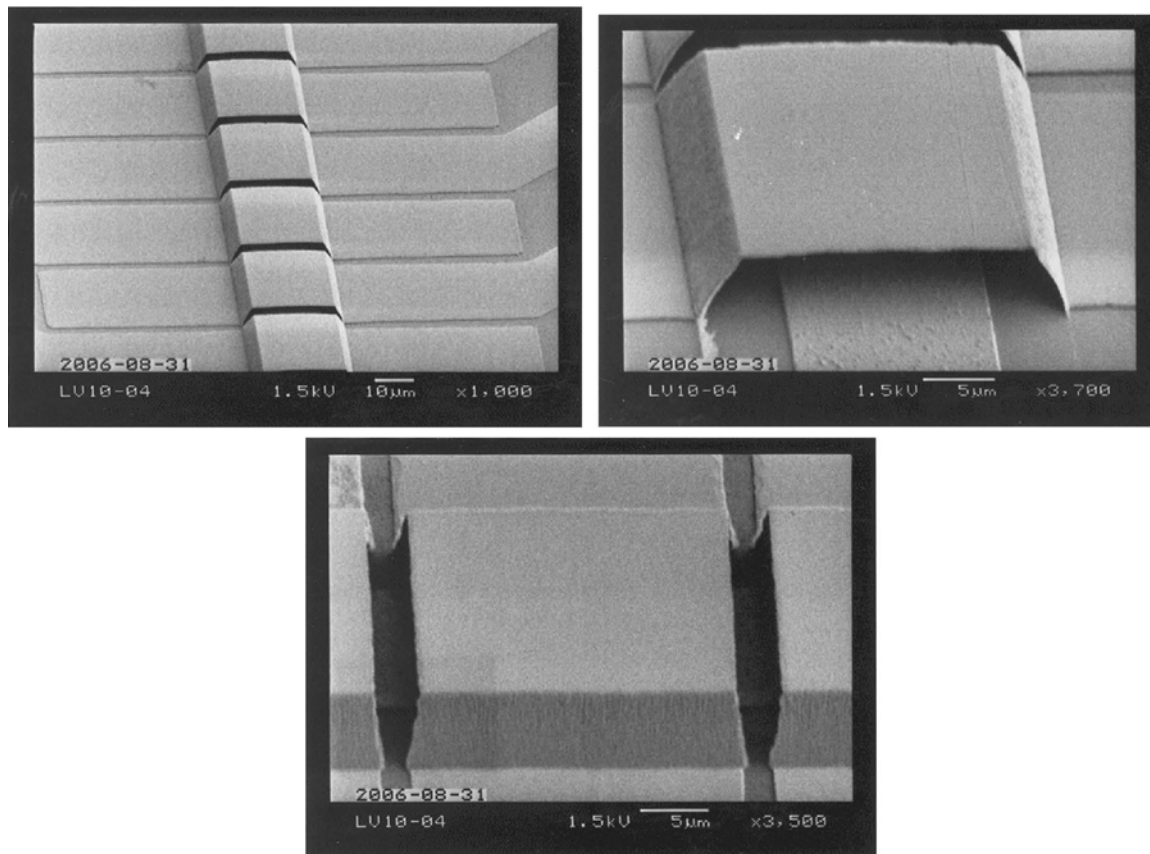


**Introduction:** The development of a Digital Video Interface (DVI) compatible VGA projector engine based on Flexible Reflective Analog Modulator (FRAM) is reported. The FRAM technology development began a few years ago [12,13,14,15] in response to a need for a new projection technology allowing the achievement of ultrahigh resolution for high fidelity simulations. This technology relies on simple micromirrors produced using typical Micro Opto Electro Mechanical System (MOEMS) manufacturing processes. It has the advantages of offering a simple fabrication process (3 masking layers), a quick response time (lower than 5s) and to be wavelength insensitive over large spectral ranges. Additionally, the light modulation with these microdevices does not require the achievement of a very high quality optically flat state of the micromirrors which is typically difficult to obtain yet necessary for other MOEMS modulation technologies.

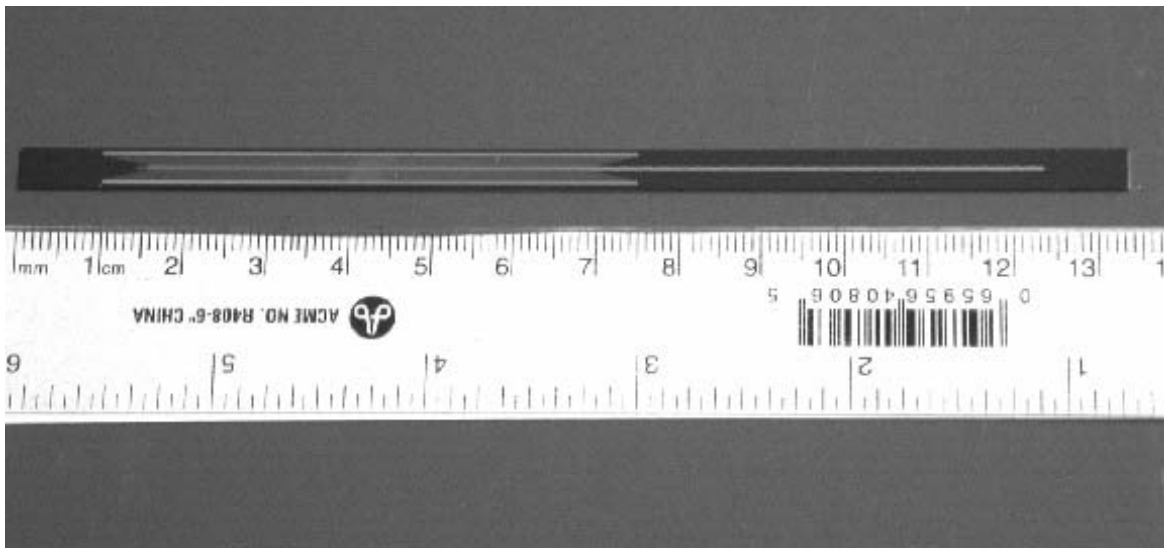
**Testing and FRAM array selection for packaging:** One main challenge of the projector engine development was the packaging of the FRAM dies presenting a high number of input signals (481). For the packaging of such dies, the dieonboard approach was selected. 480 x 1 FRAM arrays appropriate for this packaging approach have been designed, fabricated and tested (Figure 1). Very large arrays (4000x1) (Figure 2) were also produced within the fabrication run therefore confirming the feasibility of such arrays. Testing in itself represented a challenge. Actually, it was critical to select a 480 x 1 FRAM array with a pixel functionality percentage as high as possible to minimize the presence of dead rows in the projected image. Reaching this goal implied that the fabricated FRAM arrays should be carefully inspected and tested. In practice, testing all FRAMs of many 480 x 1 arrays before packaging is not straightforward. The difficulty here is that the time and cost required for such testing must remain reasonable. This requires many FRAMs to be activated and tested at once. Activation of many FRAMs (60) was achieved with a customized probe card combined to a probe station. The response of the activated FRAMs was observed with an optical test bench integrated to the probe station. This test bench was a small and slightly modified version of the optical system used in a projector. A line of light

illuminated a number of FRAMs and the light reflected by the FRAMs passed through Schlieren optics to produce pixels in the image plane located at the exit of an optical relay. A camera and a CRT produced a magnified image of the pixels. This provided a convenient method for assessing the functionality of thousands of FRAMs relatively quickly by observing the pixels intensity changes as the voltage applied to the FRAMs was varied.

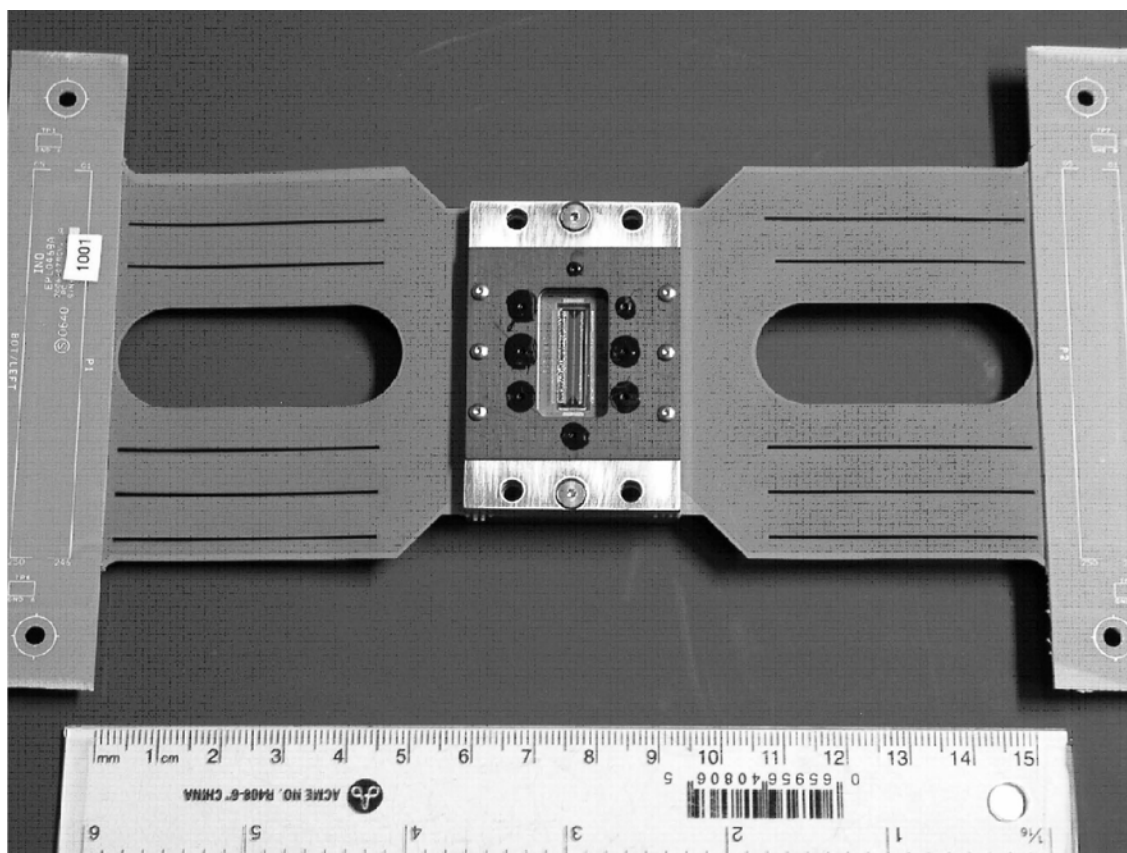
**FRAM array packaging:** One 480 x 1 FRAM array has been selected for final packaging using this method combined with complementary interferometric microscope measurements. A flex board/metallic package assembly has been used to implement the selected dieonboard packaging approach (Figure 3). Within the assembly, each FRAM is electrically connected to the flexible PCB using wire bonding. A housing placed over the FRAM array and clamped to the board provides an hermetic enclosure allowing operation of the FRAM array in an inert atmosphere of dry Nitrogen. It also provides mechanical protection to the array. It is equipped with an optical window. Small closable inlet and outlet openings allow regeneration of the inert atmosphere if necessary.



*Figure 5. FRAM arrays with a membrane thickness of 300 nm.*



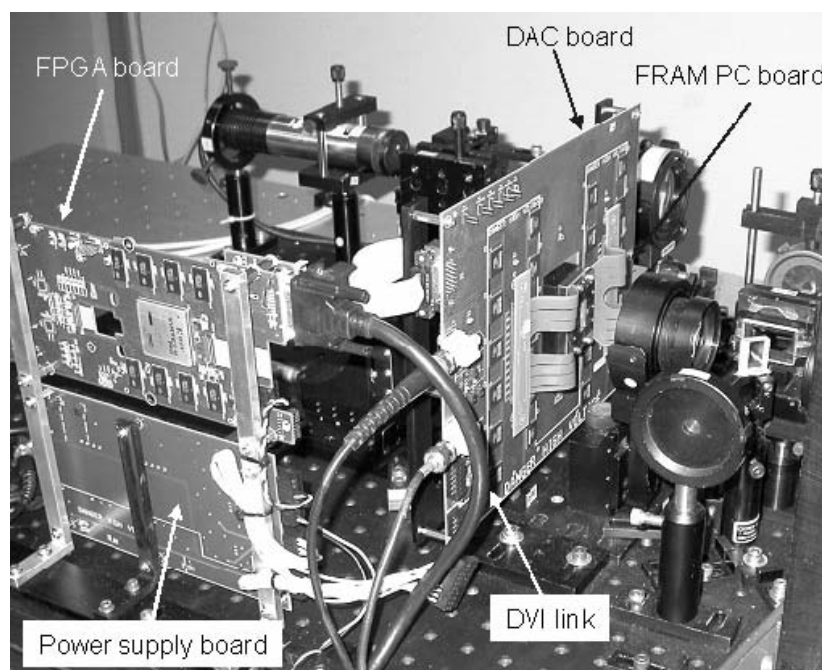
*Figure 6. 4000x1 FRAM array*



*Figure 7. Packaged 480x1 FRAM array*

**Control electronics, software and final assembly:** The link between the dieonboard packaging assembly and the control electronics is insured by standard high pin count connectors. This customized control electronics and the associated control software have been developed to allow the transfer of image data to the modulator array. The control electronics includes a DAC board, a FPGA board and a power supply board. The designed electronics and the associated software are compatible with the Digital Video Interface standard. This allows the projection of a variety of images including still images and animated sequences. With the resulting projector engine, images with VGA resolution can be displayed at a frame rate of 60 Hz.

Part of the control electronics and the package assembly are mounted on positioning supports. These supports allow a precise optical alignment of the FRAM array. Full functionality of the engine has been verified by integrating it (Figure 4) into an existing optical test bench and projecting still images and animations.



*Figure 8. The projector engine and part of the optical test bench.*

### 3.2 Brightness and contrast of images projected by laser based video projectors

Michel Doucet<sup>†\*</sup>, Mélanie Leclerc\*, Francis Picard\*, and Keith K. Niall\*\*

*\*INO, Québec City, Québec*

*\*\*Defence Research & Development Canada*

*<sup>†</sup>Presented paper (photograph below)*



**Introduction:** Laser based video projectors (LBVP) are relatively new on the scene of video display. LBVPs consist of laser beams that are scanned and synchronously modulated. An important characteristic of the LBVP is the very short lifetime of the pixels. Each pixel produces light only for the very short time during which the laser beam passes on it. The short transients make the measurement of a LBVP image's properties more difficult to obtain in comparison to conventional display devices. The validity of the results is even questionable when conventional methods are used to measure the characteristics of LBVP images. This paper presents an alternative method for the characterization of brightness and contrast of LBVP images that is expected to provide more reliable results.

**Conventional method:** Conventionally, the measurement of the brightness and contrast of a display is done using a telephotometer. As its name indicates, the telephotometer allows the measurement of light from a distant position. The telephotometer consists of an imaging lens that projects the image of the scene on a detector and pupils used to define the envelope of the effective input beam of light. In the context of display characterization, the telephotometer is pointed on a small part of the display screen and it collects rays coming from this observation zone. Only a fraction of the optical power reaches the detector of the telephotometer. In the case of LBVP, the optical signal is difficult to measure since it is relatively weak and contains rapid transients.

**Proposed alternative method:** A rapidly varying optical signal can be measured accurately provided that it is strong enough. In order to facilitate the measurements of the characteristics of the LBVP images, the detection paradigm must be changed in order to ensure a stronger optical signal on the photodetector. The proposed alternative method aims at achieving this goal. This alternative method involves measuring the irradiance (optical power per unit surface) in the plane before the screen. The radiance or luminance is then determined by computation using the measured reflectivity properties of the screen.

In the proposed method, the irradiance is measured at different points in the plane or surface located immediately in front of the surface normally occupied by the screen. The test pattern proposed for the measurement is a 10 by 10 chessboard. The irradiance measurement is performed in the middle of each

bright square. For each sampling position, a first measurement is performed for the maximum value of irradiance, and a second one is performed for the minimum value with a reverse video test pattern.

Some modern screens possess microstructures allowing control of the directional scattering properties. For such screens, the scattering properties generally depend on the illumination direction. The mathematical representation of the screen's reflectivity properties that is used for the luminance computation is the *Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF)* [16]. The BRDF gives the reflected radiance per unit of incident irradiance for any reflection direction and any illumination direction. Specialized devices exist that allow the efficient measurement of the BRDF spectral distribution. The method involves that a part of screen be sacrificed for the BRDF measurement. Having the spectral BRDF of the screen and a sampling of the screen irradiance, the luminance may be determined for any observer position and any point on the screen using a dedicated computer program.

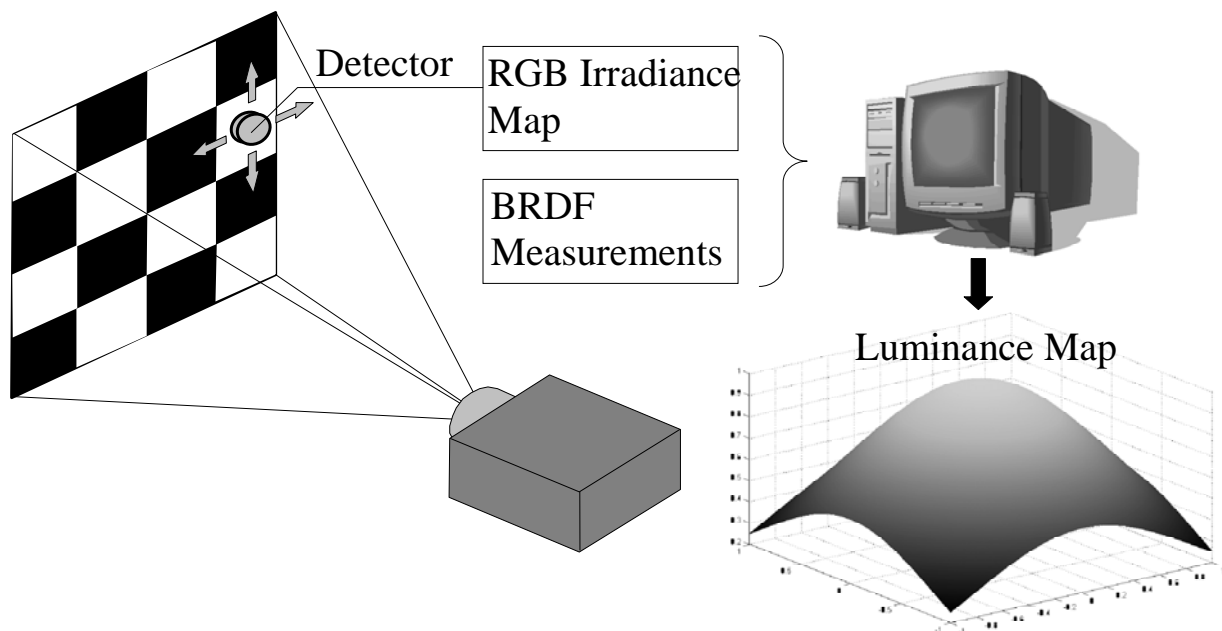


Figure 9. Schematic description of the method.

**Practical considerations:** Many practical considerations should be addressed for the implementation of the proposed method. Parasitic light may have significant impact on the results. Both spatial and temporal samplings of the optical signal may also introduce measurement error if they are not done conveniently.

Parasitic light is generated both by the projector itself and by the environment. The veiling glare comes from the undesirable reflections on the lens surfaces and on mechanical parts of the projector. It increases with the total amount of optical power contained in the projected image. The ambient illumination and the back reflection on walls and objects are the two main sources of parasitic light generated by the environment. Such parasitic light is environment dependent. Parasitic back reflection occurs when light coming from the screen is reflected back toward it by walls and objects. The parasitic light considerably affects the image contrast since it adds a background intensity on the screen. The 10 by 10 chessboard test pattern was chosen in order to generate the unavoidable veiling glare that is representative of a normal image. Such test pattern contains about half of the maximum available optical power and generates about half of the maximum possible veiling glare. Choosing a pattern with less optical power would reduce the amount of veiling glare and result in an estimated contrast not representative of the contrast for a normal

image. The signal deterioration, due to environment parasitic light, changes with the configuration of the projection room and this is a problem for standard measurement. Fortunately, simple techniques exist to overcome these problems. The contribution of the environment dependent parasitic light may be measured and then subtracted from the useful signal [17], which is accomplished by putting the photodetector in the shadow of a black opaque mask. The light from the projector (including the veiling glare) is blocked and only the ambient illumination and the parasitic back reflection can reach the photodetector.

The sampling process required for any measurement must be adapted to take into account the spatial distribution as well as the temporal fluctuations of the phenomenon to be characterized. In the case of a LBVP image, care must be taken to avoid problems related to the pixelization of the image and fast variations due to scanning. Depending on the LBVP technology, there can be dead zones in between pixels or inside each of them. Such periodic structures may induce measurement errors when the detector dimensions do not include an integer number of structure periods. Depending on the relative position of the photodetector with respect to the pixel array, more or less dead zones are included in the effective area of the detector. This means that the signal is dependent on the detector position with respect to the pixel lattice. These potential spatial sampling problems can be avoided if simple rules are respected. These rules concern the number of pixels contained within the detector's effective surface, the shape of the detector, and its orientation with respect to the pixels.

### 3.3 Physics based modeling and simulation of light sources

Jeff Clark<sup>†</sup>, Brett Chladny, Brad Colbert, and Karl Mathia

*Renaissance Sciences Corporation, Chandler, Arizona, USA*

<sup>†</sup>*Presented paper (photograph below)*



Light sources inherent in urban populations, battlefield effects, and vehicles are the dominant features in a simulated night scene. The effectiveness of optical sensors in these environments is positively or negatively affected depending upon the quantity, type, power, placement, housing, and orientation of these sources. Yet, traditional simulation techniques have focused little on the accurate representation of light sources and their interaction with other scene elements. Traditional lightpoint rendering techniques, while addressing modest out-the-window training requirements, fall well short of recreating the challenges associated with the employment of image intensifying sensors for situational awareness in today's complex mission environments. The elevated priority of low-altitude, urban missions such as close air support (CAS) and combat search and rescue (CSAR) will require richer, more accurate, and more dense representations of light sources if the sensor-related elements of these missions are to be trained in simulators.

Leveraging related research and development, ADDNS Phase II development efforts will integrate point source modeling techniques pioneered under collaborative research and development co-sponsored by USAF, AFRL/HEA and USN, NAVAIR PMA-205. The presented paper will summarize the core concepts employed to model urban lighting with the density and accuracy desired for sensor training applications. Secondly, a proof-of-concept, open architecture XML storage structure for point source modeling parameters will be summarized. Finally, the results of these techniques will be presented in an application example demonstrating the offline prediction of point source types, power, and location from remote sensing data as well as the production of physics-based terrain irradiance maps for simulation.

## 4 Image generation

---

### 4.1 Integration of a deployable CIGI-based IG in an existing simulation

Robert Wolfe<sup>†</sup>, et Tony Ghoman \*

*\* Defence Research and Development -- Toronto*

*<sup>†</sup> Serenica Technologies Corporation (Presented paper)*



An image generation system delivers the principal imagery in visual simulations. It may be split into its constituent software (image generator) and hardware (display) components. The image generator supplies both image rendering functions as well as informational mission functions. The system is often characterized by its ability to provide a certain frame rate for a given image resolution, scene complexity, and latency. The ADDNS project has produced an advanced image generator (IG) for flight simulation known as the Eagle IG. The large screen and visual acuity resolution of the Evans and Sutherland laser-based projector display make this system one of the first of its kind. The Eagle IG is based upon Multigen FlightIG image generation software, providing a networkbased interface based upon the Common Image Generator Interface (CIGI). Here we discuss issues of the demonstration integration of the new IG, using CIGI, with the existing Advanced Distributed Mission Training (ADMT) MultiTask Trainer (MTT) for the C18, located at DRDC Toronto. In normal operations, the MTT employs a multichannel MetaVR image generation system which display over eight flat projector screens in a dome arrangement.

CIGI is a networkbased protocol created by Boeing that defines the format and content of CIGI packets but does not define how they are transmitted across a network. Boeing publicly released its original CIGI SDK in 2001 to promote the use of an open image generator interface for visual simulation. Development of CIGI support software continues today in the open source community. CIGI originates in the IG, perhaps based on the philosophy that absolute frame borders in the IG are fixed or very difficult to change given features such as genlocking. Ideally, the Host must be able to respond to the IG with the data appropriate to the IG frequency.

There are a myriad of issues that complicate the integration of any host simulation with an IG. These issues are complex when integrating with a host that is changing from one IG to another and more so when integrating sidebyside in a heterogeneous IG system. The approach taken for integrating the Eagle IG with the MTT is to create a sidebyside demonstration of the usual MTT visual with a replicated front

channel on the Eagle IG using CIGI protocol to control the viewpoint only. A generic analytical approach for facilitating the integration includes scoping the existing IG installation, comparing with the new IG protocol, and substituting appropriate host information and messages in the new protocol. The complete integration of the MTT with the Eagle IG is far more complex than viewpoint integration and well beyond the scope of this work. The process of integration follows the steps of comparison of native MTT graphics messages with equivalent CIGI messages (which could be used to scope complete MTT integration), the assembly of well ordered CIGI API source code calls, and the inclusion of MTT data in the CIGI messages.

To facilitate the integration, a sidebyside of CIGI equivalents to the ChannelSurfer messages used by the MTT was prepared. The important parameters of each of the CIGI Advanced Deployable Day Night Simulation Symposium message types are indicated. For ChannelSurfer messages, it is indicated if the message is of a generic type (header only), a minimum requirement for ChannelSurfer communications, or a corresponding message for completion of the protocol exchange. Pseudosource code fragments demonstrate the sequence of CIGI calls required in communication with any IG. The calls are based on the freely available Boeing CIGI software, the same code exploited by Multigen to create their own host emulation application for FlightIG software. Additional pseudocode snippets demonstrate the integration of MTT values with the properly sequenced CIGI calls within the MTT software.

Different issues that may have complicated or facilitated the integration process are also discussed.

## 4.2 Advances in scalable generic image generator technology for the Advanced Deployable Day/Night Simulation (ADDNS) Project

Ray M. Obidowski<sup>†</sup>, and Rajesh Jha

*Array Systems Computing Inc., Toronto*

*<sup>†</sup>Presented paper (photograph below)*



The Advanced Deployable Day/Night Simulation (ADDNS) Technology Demonstration Project (TDP) contained a critical requirement for at least 16 synchronized Image Generators (IGs) to render scenes at 60 Hz for a greater than 20 million pixel Ultra-High Resolution laser projection system.

Array Systems Computing Inc. (Array) adapted its advanced ScalableGSP (Generic Signal Processor) architecture to satisfy the ADDNS requirements. This scalable generic IG solution is described in the paper.

The Array ADDNS-IG solution is composed of a 16-node Personal Computer (PC) Linux cluster configuration, with each PC consisting of integrated Commercial Off-the-Shelf (COTS) hardware, featuring multiple Opteron Central Processing Units (CPUs), NVIDIA graphics cards, and supporting components.

To operate the hardware and use distributed rendering, Array integrated Multigen-Paradigm Inc. (MPI)'s Flight-IG runtime software and the Common Image Generator Interface (CIGI) under Centos Linux.

During the development of the Array ADDNS-IG, a number of engineering and design challenges were overcome. The final solution includes the following features:

1. In order to seamlessly display greater than 20 million pixels on the laser projector at 60 Hz, the individual IGs were synchronized globally to within 10 milliseconds by both genlock and framelock, using special hardware and software. Verification and validation of this requirement involved detailed testing and strict configuration control.
2. The system required portability and a limited environmental footprint. A space saving design for each IG was developed to address these requirements. These solutions involved developing and implementing methods of fitting the components, reducing the power consumption, and reducing noise and heat.

3. The IG system was designed to interface with other systems operating under open architecture and standards. This was achieved by using the open source CIGI protocol, COTS components, and the Centos Linux distribution. The IG system was also designed to support future requirements of interfacing with other networks using Distributed Interactive Simulation (DIS) and High-Level Architecture (HLA) protocols.
4. The mandatory 4 x 4 'tiling' of 16 Digital Video Interface (DVI) inputs for the display system's full scene display at runtime required distributed rendering using advanced networking techniques in Linux including multicasting and host-input synchronization, in a Master-Slave node configuration.
5. The system's cost and operational requirements implied the use of generic, easily replaceable COTS components, including modern graphics cards with advanced Graphics Processing Units (GPUs).

Additional enhancements currently being developed for the IG system include boot-off-network diskless slaves, a fully integrated network backup server, and an updated operating system build (Centos 5). These enhancements enable a reduction in the number of hard drives in the cluster from 18 to 3, simplifying the configuration and backup of the system, while also reducing the number of hard drives to be secured in the future use of classified data.

Array has developed and deployed a modern, COTS based, open architecture, scalable generic image generator system for ADDNS. This IG system can be easily upgraded and expanded to address more demanding future applications, such as cockpit flight simulator displays, and higher resolution laser projectors. Future challenges include further reducing network latency, and increased graphics card resolution to support next generation high resolution laser projectors.

### 4.3 Detection threshold of visual displacement in a networked flight simulator

Christine M. Covas<sup>†\*</sup>, James P. Gaska<sup>\*\*</sup>, Lt Megan E. Shamp<sup>\*</sup>, and Byron J. Pierce<sup>\*</sup>

*\*Air Force Research Laboratory*

*\*\*Link Simulation and Training*

*<sup>†</sup>Presented paper (photograph below)*



**Abstract:** Networked flight simulators facilitate team training by creating exercise environments and simulations representative of real-world operations. However, networked simulators are often plagued by connectivity issues, such as constant and variable network delay. Network delay can cause positional discrepancies or visual jitter in the flight path of a moving model which could effect pilots overall perception of fidelity of motion. To reduce the visibility effects of network delay, image generator algorithms, such as model position smoothing, can be enabled. The use of smoothing however, can also contribute to error in the motion path of an entity. This research aims to determine the detection threshold of visual displacement for a typical flight task, formation flight, as a function of simulated distance (100, 200, & 400 meters) and smoothing (no smoothing or smoothing across 1 second). The results show a significant increase in detection threshold with increases in distance. The addition of model position smoothing also increased the amount of visual displacement required for detection. The implications of these results, as well as plans for future research on network transport delay will also be discussed in this paper.

**Introduction:** To provide a realistic team-training environment, simulators are networked enabling trainees to perform exercises emulating real-world conditions. When simulators are networked, especially over large geographical areas, interactions between them become more complicated. According to Toet three important issues related to the realism of time must be considered when networking simulators [18]. These issues concern the timing consistency of the virtual world, delays, and the overall representation of time in a simulator.

The level of realism of an entity in a networked simulator depends upon factors such as network delay, thresholds used to determine when a simulated position error should be corrected, and algorithms used to correct position errors. These factors can interact and produce positional discrepancies between the position provided by a local model of an entity, which is used to render the entity, and the actual position of the entity. The correction of positional discrepancies via the use of smoothing within the Image Generator (IG) results in a positional displacement of the rendered entity [19]. The purpose of this experiment was to assess the detection threshold of positional error or displacement threshold as a

function of distance from eyepoint, and positional smoothing performed by the IG. This data will contribute to a larger research paradigm to assess the impact of network parameters on task performance in a flight simulation environment.

**Methods:** Five observers were used to assess the effects of distance from eyepoint and position smoothing on the detection threshold of positional displacements, or jitter caused by network transport delay. The design of this experiment included two levels of position smoothing (no smoothing and 1 sec of smoothing), three simulated distances (100, 200, and 400 meters) and thirteen displacement amplitudes (between 0 and 8.192 meters) for each distance. We used a repeated measures design for a total of  $2 \text{ (smoothing)} \times 3 \text{ (distances)} \times 13 \text{ (displacement amplitudes)} \times 5 \text{ (observers)} \times 15 \text{ (repetitions)}$ .

Stimuli consisted of a blue sky and a fully textured, realistic three-dimensional model of an F-16. Visual scenes were rendered with MetaVR's real time visualization application, Virtual Reality Scene Generator (VRSG) <sup>TM</sup> [20]. Custom software, written in C++, was used to control the characteristics, timing, and sequencing of the motion sequences, to communicate with VRSG, and to record the observer's responses.

A trial consisted of one, 2-second presentation of the F-16 on a stationary visual scene. The blue-sky background was present continuously throughout each block of trials. Simulated distances were varied across blocks of trials. For each block of distance trials there were a range of 13 different displacement amplitudes. Following each presentation of the aircraft text was presented on the screen to ask observers "Did you detect jitter?" and to cue responses of "Yes" or "No."

**Results:** The results were analyzed by fitting a Weibull curve to the mean response data from each observer for each combination of smoothing and distance to obtain a threshold at the 63% level of performance. The data was then converted to visual angle in arcmin to assess whether observers required different visual information for each combination of conditions. Both the raw distance and the visual angle data were then subjected to a repeated measures analysis of variance (ANOVA) to assess the presence of any main effects or interactions between distance and position smoothing. Finally, t-tests were computed to determine if there was a difference in detection threshold between the no smoothing and position smoothing conditions for both the raw distance and visual angle data.

Figure 1 shows detection thresholds in meters for the two smoothing conditions across the three distance conditions. The figure shows that for both smoothing conditions, detection threshold generally increased as a function of distance. The figure also shows that the addition of smoothing also increased detection thresholds. An ANOVA revealed that the effect of simulated distance was statistically significant  $F(2, 8) = 6.97, p < 0.05$ . A post-hoc pairwise comparison showed that the following simulated distances were significantly different ( $p < 0.05$ ): 100 m versus 200 m and 100 m versus 400 m.

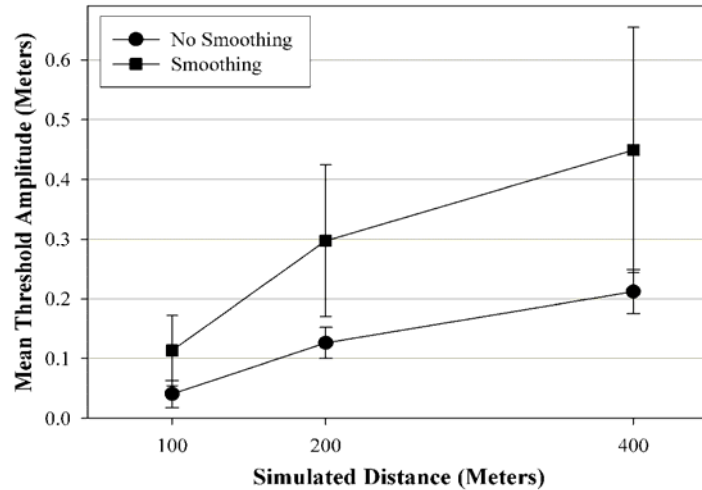


Figure 10. Mean threshold amplitudes in meters for three simulated distances and two smoothing conditions. The circle represents the no smoothing enabled condition and the square represents the 1 s smoothing condition. Error bars represent the actual computed standard error of the mean.

We did not find a significant overall effect of smoothing, or an interaction with distance from eyepoint. Figure 2 shows the proportion of correct responses out of fifteen trials for the two smoothing conditions averaged across all subjects and simulated distances. Since there is a visual difference in overall detection threshold between the two smoothing conditions, we also wanted to test the null hypothesis that there would not be a difference between the no smoothing and 1 s smoothing thresholds using an a priori contrast. We found, using a two tailed t-test, a significant difference in detection threshold between the no smoothing and smoothing conditions,  $t(13) = -2.26$ ,  $p < 0.04$ .

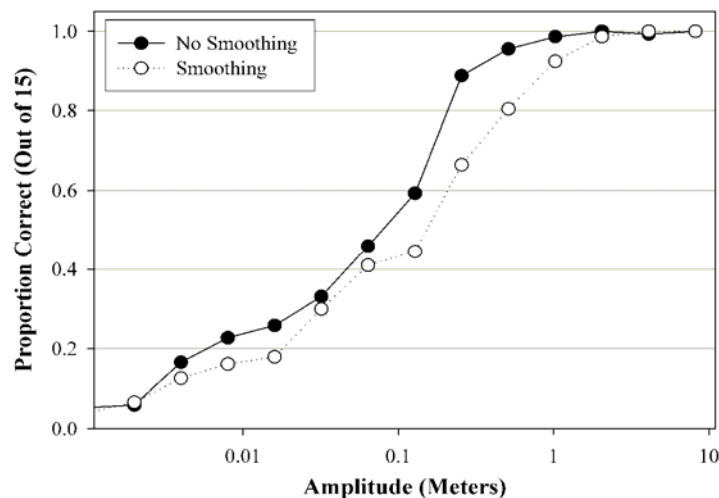
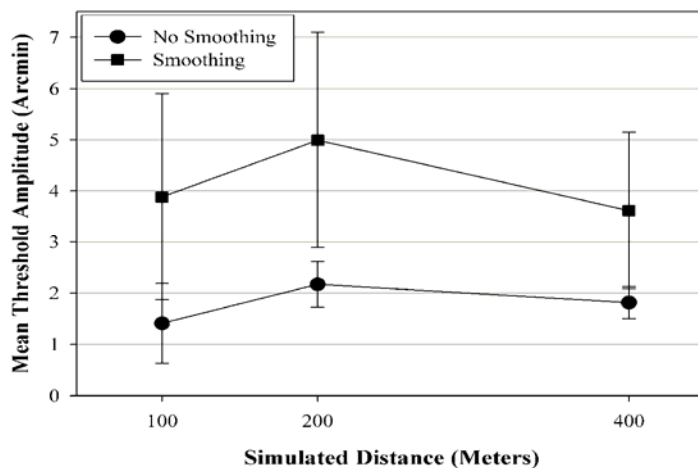


Figure 11. Percentage of correct responses out of fifteen trials for the two smoothing conditions averaged across all subjects and simulated distances (each point represents 225 data points). The black circle represents the no smoothing condition and the white circle represents the 1 s smoothing condition.

To assess the effect of distance and position smoothing on the visual angle of the detection threshold, we ran a Repeated Measures ANOVA. There were no significant effects or interactions for either distance or smoothing. Figure 3 shows the detection thresholds in arcmin for the two smoothing conditions across the three distance conditions. The figure shows that an increase in visual angle of the displacement amplitude was not required for detection as the simulated distance was increased. However, it is shown that the addition of smoothing did increase the visual angle of the detection threshold. We found, using a two tailed t-test, a significant difference in the visual angle of the detection threshold between the no smoothing and smoothing conditions,  $t(13) = 2.16, p < 0.01$ .



*Figure 12. Mean threshold amplitudes in arcmin for three simulated distances and two smoothing conditions. Circles represent no smoothing enabled condition and squares represent the 1 s smoothing condition. Error bars represent the actual standard error of the mean.*

**Discussion:** The results of this experiment show that increasing simulated distance increases the amount of displacement, in simulation space, required to detect target aircraft motion. However, when the displacement was expressed in units of visual angle, the effect of simulated distance was not significant, indicating that the thresholds were determined by angular displacement. Additionally, under the conditions used in this study, smoothing approximately doubled angular displacement thresholds.

Under all conditions, displacement thresholds were small - approximately 2 arcmin for the unsmoothed condition and 4 arcmin for the smoothed condition. This translates into displacement thresholds of  $\frac{1}{2}$  pixel and 1 pixel for the unsmoothed and smoothed conditions, respectively. In fact, studies performed under optimal conditions report displacement thresholds of 2 arcsec [21].

The finding that smoothing, which decreases target velocity, increased the displacement threshold is not surprising. Smoothing is used in a networked environment to reduce the visual saliency of the displacement and provide a more realistic looking flight path to an observer. However, the smoothed flight path will provide a less accurate representation of the true flight path [19]. The high sensitivity of the visual system in detecting displacement shown in this study and others suggests that the positional error of the smoothed flight path can be encoded by the visual system and could, therefore result in performance degradation. Furthermore, because the smoothed flight path looks realistic it may alter a pilot's performance whereas the unrealistic jump with smoothing disabled can be easily discounted by the pilot. Therefore the benefits and advantages of smoothing are still subject to debate and to future research.

As stated previously, this experiment is the first in a series of experiments designed to determine the effect of network conditions on flight tasks in a networked simulator training environment. At the Air Force Research Laboratory in Mesa, AZ we are conducting a detailed evaluation of the actual physical positional discrepancies that occur as a function of the overall load of the network. This evaluation will allow us to compare our results from the present experiment to actual positional discrepancies that would manifest as a result of network load. We are also conducting another evaluation to assess the different types of positional discrepancies induced by network packet load over a long-distance network (i.e. from Mesa, AZ to Melbourne, Australia).

### **Acknowledgements**

This work was supported by U.S. Air Force contract FA8650-05-D-6502. We thank Bill Morgan (The Boeing Co.) for developing the simulation and data collection software and Craig Eidman (AFRL/HEAE) for his subject matter expertise.

## 5 Human Factors

---

### 5.1 Evaluation of the spatial and temporal resolution of digital projectors for use in full-field flight simulation

James P. Gaska<sup>†\*</sup>, George A. Geri\*, Marc D. Winterbottom\*\* and Byron J. Pierce\*\*

*\*Link Simulation and Training, Mesa, Arizona, USA*

*\*\*Air Force Research Laboratory, Mesa, Arizona, USA*

*<sup>†</sup>Presented paper (photograph below)*



**Introduction:** Digital projectors based on liquid crystal or micro-mirror technologies provide higher spatial resolution than the CRTs typically used in flight-simulator applications. However, their temporal response is limited by long hold-times. Hold-time is the interval that pixels are activated during each frame, and it is related to both the design of the driver circuitry and the display itself. Long hold-times result in the blurring of moving imagery, which can affect the detection and identification of simulated targets as well as the perceived realism of simulated scenes.

Described here are the results of an evaluation of several digital projectors that implement various techniques for reducing pixel hold-time. The evaluation included estimates of both spatial and temporal resolution, as well as perceptual tests used to assess the validity of those estimates. The techniques described here can be used to assess the potential utility of candidate projectors for a given simulator application.

**Methods:** The following projectors were tested: ferro-electric liquid crystal on silicon (FLCoS), liquid crystal on silicon (LCoS), liquid crystal (LCD), digital light projector (DLP, a digital micro-mirror device, or DMD), and cathode ray tube (CRT). The hold-time of the FLCoS and LCD projectors was varied using mechanical shutters, and the hold-time of the DLP projector was varied using an electronic shutter. The CRT and LCD projectors were used mainly for comparison and so their hold-times were not varied.

The brightness, contrast, and gamma function of each display were first determined in preparation for the spatial resolution, temporal response, and the two temporal-resolution measurements. The brightness and contrast of the CRT were adjusted so as to obtain the brightest image consistent with no saturation of the display gamma function (i.e., the function relating luminance to input graylevel). Overall luminance and contrast were then measured using the central four squares of a  $4 \times 4$  checkerboard test pattern that

covered the entire image. The optimum luminance level determined for the CRT was also used for the other displays.

Spatial resolution was measured using a standard procedure that involved displaying grille patterns consisting of either horizontal or vertical lines in one of three line widths (1-on/1-off, 2-on/2-off, and 3-on/3-off). The luminance distribution of the patterns was then measured in the direction orthogonal to the lines, and the contrast of the patterns was calculated. Contrast was then plotted as a function of grille-pattern frequency, and interpolation was used to determine the effective number of lines corresponding to a contrast of 25%, which when converted to distance on the screen is a measure of spatial resolution. The number of resolved lines was then obtained by dividing the pixel count of the projector by the effective number of lines. Display temporal response was measured by using a photodiode to measure the temporal light distribution associated with a small test square flickering at 30 Hz. Perceptual assessments of display temporal resolution were performed using two techniques. The first technique was a moving-line blur test in which a pair of vertical, white lines, each one pixel wide, was moved horizontally across a dark field at various speeds. Observers adjusted the width of the gap between the test lines such that the size of the gap was minimized. The rationale of this test is that a higher temporal resolution will result in less blurring of the vertical test lines in the direction of motion, and this in turn will allow the observers to see the gap with smaller separations between the vertical lines. Thus, adjusted gap width may be taken as a measure of image blur. The second technique was an aircraft roll-detection task. This task is conceptually similar to the moving-line test, but provides a motion-blur estimate for a more realistic flight-simulator task. In this task, jet-aircraft models were moved laterally across the display, and at the half-way point the aircraft rolled either 0 degrees (on half of the trials) or between 4 and 23 degrees (on the other half of the trials). Roll-detection thresholds were obtained by finding the degree of roll corresponding to 82%-correct roll detections.

**Results:** The number of resolved lines for the projectors tested ranged from about 1200 lines for the CRT projector to about 4000 lines for the DLP and LCoS projectors. Projector hold-times ranged from less than one millisecond for the CRT to about 16.7 milliseconds (i.e., the full video frame) for the LCD.

For the CRT projector, perceived blur, as measured using the moving-line test, increased from about 5 to 12 arcminutes as target speed increased from about 5 to 68 degrees/second. For the LCD, LCoS, and DLP projectors tested with hold-times of over 10 milliseconds, perceived blur increased from 5-10 arcminutes for target speeds below 10 degrees/second to 40-60 arcminutes for target speeds greater than about 50 degrees/second. As hold-time was decreased for the LCoS and DLP projectors, perceived blur also decreased, although the decrease was generally proportional to target speed. For the LCoS and DLP projectors, perceived blur was not significantly different from that of a CRT when hold-time was reduced to about four to six milliseconds. The threshold roll-detection magnitudes were about 10, 14, and 16 degrees for aircraft-target speeds of 8, 17.5, and 35 degree/sec, respectively. These data indicate a clear correlation between the roll-detection data and both the temporal-response measurements and the the moving-line test data.

**Implications:** The U.S. Air Force and Navy are considering, or are in the process of, replacing CRT displays with digital displays for use in flight simulators. However, low temporal resolution and concomitant moving-image blur is a significant problem for the use of these digital displays. The display evaluation techniques developed at AFRL, Mesa provide a relatively simple way to objectively measure both display spatial and temporal resolution, and additionally, to predict their perceptual consequences. The results of these evaluations show that, for all projector types tested, reducing hold-time to about four to six milliseconds effectively reduced moving-image blur to that of a CRT projector, which is currently the accepted standard for projector temporal response. Finally, the results of the temporal-resolution measurements were found to correlate with performance on an air-to-air task that is representative of

those performed in full-field flight simulators. In order to assess projectors in applied settings, analogous tasks will need to be devised and implemented for the flight simulators of interest.

## 5.2 A spatial cognition paradigm to assess the impact of night vision goggles (NVGs) on way-finding performance

Michelle Gauthier\* and Avi Parush<sup>†\*\*</sup>

*\*CAE Professional Services, Ottawa*

*\*\*Carleton University, Human Oriented Technology Laboratory, Ottawa*

*<sup>†</sup>Presented paper (photograph below)*



Although Night Vision Goggles (NVGs) support and enhance visual perception in low-light or dark conditions the optical and electro-optical characteristics of NVGs impact visual perception differently than normal light conditions. Consequently, most published studies investigating the impact of NVG use on human performance have been based on psychophysical and perception research approaches (e.g., Macuda, et al., 2004; Niall et al., 1999). However, anecdotal reports have suggested that NVGs affect spatial orientation and way-finding, implying that NVG use also influences human cognitive functions. Few studies have systematically characterized the cognitive nature of using NVGs, particularly on spatial behavior.

This paper aims to present an empirical methodology to study NVG use on way-finding and orientation performance, by introducing a spatial cognition research paradigm. The paradigm is a between subjects design composed of two main phases: 1) a learning and practice phase; and 2) tests of acquired spatial knowledge. In the learning and practice phase, participants learn the environment through active navigation and way-finding, searching for targets within a life-sized maze with or without NVGs. In the second phase, knowledge of the environment is tested with two spatial memory tests (a judgment of relative direction and map drawing task). It is proposed that such an approach can be used to study both the perceptual and cognitive aspects of using head mounted vision enhancing devices, particularly for search and way-finding tasks. Furthermore, this approach can be utilized in the comparative and acceptance testing of new vision enhancing technologies. The methodology used in this study can also be utilized in developing and assessing training guidelines and strategies that are more compatible with humans' spatial cognition processes. Some practical implications regarding NVG training and possible field research to explore improvements in the design and deployment of vision-enhancing devices are also discussed.

In the current study, findings show that participants using NVGs while navigating and way-finding had longer navigation times and more excess turns compared to those not using NVGs. Moreover, a significant decrease in navigation times and navigational steps compared to controls. In the judgement of relative direction task, relative direction pointing to searched objects across rooms and to distractors in the

same room was more accurate for those who performed the search without NVGs. In the map drawing task, participants using NVGs were more likely to position more objects incorrectly and receive worst map goodness scores.

The results demonstrate that NVGs affect spatial navigation and way-finding performance and the acquisition of spatial knowledge. By objectively characterizing the impact of NVGs on spatial way-finding and orientation, the current results provide empirical evidence beyond that of anecdotal reports. The findings empirically demonstrate the effectiveness of the research paradigm.

### 5.3 Psychophysics of night vision device halo

Robert S. Allison<sup>†\*</sup>, Tracey Brandwood\*, Margarita Vinnikov\*, James E. Zacher\*, Sion Jennings\*\*, Todd Macuda\*\*, Paul Thomas\*\*\*, and Stephen A. Palmisano\*\*\*\*

*\*Centre for Vision Research, York University, Toronto*

*\*\*Institute for Aerospace Research, National Research Council of Canada, Ottawa*

*\*\*\*Topaz Technologies, Toronto*

*\*\*\*\*School of Psychology, University of Wollongong, Wollongong, Australia*

*<sup>†</sup>Presented paper (photograph below)*



**Overview and Purpose:** In modern Night Vision Devices (NVDs) ‘halo’ around bright light sources remains a salient imaging artifact. Although a common feature of image intensified imagery, little is known of the perceptual and operational effects of this device limitation. This paper describes two related sets of experiments. In the first set of experiments, we provide quantitative measurements of Night Vision Device (NVD) halos formed by light sources as a function of intensity and distance. This characterization allows for analysis of the possible effects of halo on human perception through NVDs. In the second set of experiments, the effects of halation on the perception of depth and environmental layout are investigated psychophysically. The custom simulation environment used and results from psychophysical experiments designed to analyze halo-induced errors in slope estimation are presented.

**Background:** Accurate simulation of image intensifier physics and NVD scene modeling is challenging and computationally demanding, yet needs to be performed in real-time at high frame rates and at high-resolution in advanced military simulators. Given the constraints of the real-time simulation, it is important to understand how NVD artifacts impact task performance in order to make rational engineering decisions about the required level of fidelity of the NVD simulation. A salient artifact of NVD viewing is halo, the phenomenon where the image of a bright light source appears surrounded by disc-like halo. High-fidelity physical modeling of these halo phenomena would be computationally expensive. To evaluate the level of approximation that would be sufficient for training purposes human factors data is required.

**Experiment Series 1, Halo Metrics:** A custom built light source and optical bench were designed to present variable intensity NVD stimuli at a range of distances. For each condition, three measurements of halo angular size were obtained. Two subjective measures were used to estimate apparent halo angular size. A digital camera and image processing algorithms were used to obtain estimates of the objective

(physical) angular size of the halo image displayed on the NVD phosphor screen. All measures were cross calibrated to each other, and to standard targets at known distances to get commensurable data in terms of visual angle at the NVD.

The results suggest that if a point source is bright enough to generate a halo, then the size (but not intensity or transparency) of that halo is approximately constant with respect to distance and intensity, at least until secondary halos are apparent. Any change in apparent size is small compared to the more salient effects of halo disappearance or double halo appearance as the source intensity is decreased or increased respectively.

**Experiment Series 2, Psychophysical Experiments Simulating Helicopter Approach:** The finding that primary halos do not change appreciably in angular size with changes in distance to the generating source lends them interesting properties as perceptual stimuli. Specifically, halos of light sources in the scene appear to be associated with the generating light sources and localized in the scene but do not undergo the same perspective transformation as other stimuli encountered in our normal visual experience. Thus, we might expect that halos might be subject to a variety of perspective-based illusions. For instance, a halo should appear to shrink as a light source is approached, and an isolated bright halo should appear nearer than a dim one even if further away. These predictions of the visual perception of isolated halos have been verified informally in our lab. With a mobile observer navigating through a complex environment, the effects of halos on perception are more difficult to predict. In the present experiments we examine how halos may act as visual stimuli to influence the perception of objects and scene layout in more complicated visual scenes. To simulate these environments under controlled laboratory conditions a custom NVD simulation environment was developed.

**Simulation Environment:** Based on physical models of NVD operation, three-dimensional computer graphic simulations over modeled terrain were rendered by a cluster of PC workstations. Scenes were modeled in 3D Studio Max based on digital terrain maps. An in-house developed virtual environment application programming interface (VE 2.2) was used to control and configure the simulation, display, and input devices. The simulation is primarily visual and aircraft dynamics were not modeled. Extensive use of state-of-the art shader language techniques allowed real-time generation of the modeled NVD halo. The experiments were conducted in a large format stereoscopic virtual immersive environment.

**Procedure:** In one set of experiments, observers (N=5) were required to judge their attitude with respect to the ground during simulated flight over terrain. The modeled world contained a large flat plateau with a landing strip in the centre. The plateau was surrounded by simulated mountains that were unpredictable in location, height and distance on the plateau to prevent their being used as visual cues. The surfaces were rendered with halo or non-halo inducing light sources distributed on the ground plane. The intrinsic texture and perspective cues to depth in the scenes were varied by changing the regularity and configuration of the light sources. To explore the effects of observer motion the simulation was either static (simulating a hover), or depicted lateral motion or a simulated level flight approach. During the simulation, observers were instructed to estimate the slope of the ground (in pitch) with respect to the virtual camera. Following the test stimulus, a full-cue daylight scene was displayed with random pitch angle. The observers were given control of the pitch of the virtual camera, and were asked to match the attitude of the virtual camera to their estimate.

In another set of experiments, the same observers viewed a simulated approach to the runway, and estimated the aim-point or touchdown point given their current heading. After viewing the approach sequence, the simulated approach stopped and the observers moved a visual marker to align with the estimated touchdown point.

**Results:** Observers perceived increasing slant with increasing simulated slant in the daylight conditions and in night time conditions with regular patterns of lights. Irregular patterns of lights conditions resulted in a weak correlation between perceived and simulated slant. When slant is perceived and halos are present, subjects report a strong impression of an increase in the perceived size of the halos with simulated distance although halos are constant size over the image. This is appropriate size constancy as found in Emmert's law. There is little conflict here as the strong slant cues dominate and the halo invariance is seen as a size gradient. Subjects report that they can 'see through' the halo to the slanted surface suggesting they can segregate the slant of the surface from the frontal slant specified by the halo. This subjective report is consistent with the finding that subjects are able to estimate surface slant in the presence of halo as accurately as in halo-free scenes.

**Conclusions:** NVD halos generated by light sources in a scene have a size that is approximately invariant with intensity and distance. Objective and subjective measures of halo geometry indicate that halo size, when halo is present, is relatively invariant of target distance or intensity. This property results in perceptual distortions and strong illusions with isolated stimuli. In complex scenes, systematic distortions of slant are predicted due to an imposed texture gradient created by the halo. We investigated this hypothesis in psychophysical experiments. The results suggest that perception of slant and glideslope in complex scenes is remarkably tolerant of texture gradients imposed by NVG halo. These results will be discussed in terms of NVG simulation and of the ability of human operators to compensate for perceptual distortions.

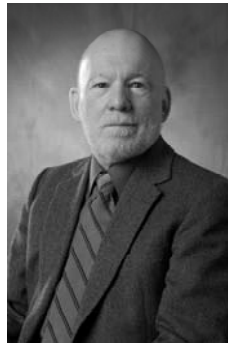
## 5.4 Effects of screen resolution and training variation on a simulated flight control task<sup>3</sup>

D. C. Donderi<sup>†\*</sup>, Keith Niall<sup>\*\*</sup>, Karyn Fish<sup>\*</sup> and Benjamin Goldstein<sup>\*</sup>

*\*Human Factors North Inc*

*\*\*Defence Research and Development Canada-Toronto*

*†Presented paper (photograph below)*



**Abstract:** One hundred and four inexperienced observers were trained on a PC-based flight control task in order to measure the effect of two flight simulation variables; screen resolution and training speed, on post-training performance. A throttle and joystick controlled the speed, radius and inclination angle of an orbiting F-18 chase aircraft. The control task was to overtake and intercept a target F-18 flying on another orbit with a different radius and inclination. The simulation included a realistic F-18 cockpit for the chase plane, a realistic F-18 target aircraft, textured terrain, a horizon, clouds and sun. The variables of interest were screen resolution (768 x 1024, 960 x 1280, 1200 x 1600 [criterion]) and simulated training speeds of 450, 900 (criterion) or 1350 knots. Experiment one was carried out in a single session at criterion resolution with 50 observers. It included a pretest at criterion speed and a training session that presented either 18 training trials at 900 knots, eighteen at 1350 knots, nine trials at 450 and nine at 900 knots, or six trials at each of 450, 900 and 1350 knots to different groups of observers. Consistent fast (1350 knots) training generated the largest training errors but the best post-training (criterion speed) performance. Experiment two, with fifty-four observers, used the same task. The three screen resolutions were varied between observers while training speeds were varied within observers on three sessions over three days. Familiarization and the criterion pretest were completed on day one. A single training session and criterion posttest were completed on each of days two and three. All permutations of pairs of 450, 900 and 1350 knot speeds were used during the training sessions over days two and three. Following the first training session, 1350-knot training at high (criterion) resolution and medium resolution produced the best post-training performance results. Following both training sessions, the best post-training results occurred following high resolution training at the fast (1350 knot) training speed in both training sessions. Performance under low-resolution conditions was significantly worse than under high (criterion) or medium-resolution training. These results re-emphasize the importance of screen resolution during simulator training, and they support earlier findings that greater-than-realistic speed training improves performance on a simulated flight control task carried out at a realistic (criterion) posttest speed.

---

<sup>3</sup> This work was completed under a contract between Human Factors North Inc and Defence Research and Development Canada (DRDC). We thank Josie Caro for carrying out indispensable pilot studies that facilitated the work reported here. Software for this simulation was developed by Array Systems Computing Inc. under contract to DRDC.

## 6 Photogrammetry

---

### 6.1 Video-to-reference image indexing

Vitaly Zholudev<sup>†\*</sup> and Richard Wildes<sup>\*\*</sup>

*\*Department of Computer Science and Engineering, York University, Toronto*

*\*\*Centre for Vision Research, York University, Toronto*

*<sup>†</sup>Presented paper (photograph below)*



**Introduction:** This work is concerned with registration of data in geospatial databases, especially with registering images taken by different sensors and from different viewpoints of the same scene. This research has many applications in creating and updating maps, surveys and other geospatial data sources. While considerable work has been performed in image registration [22], extant approaches break down as viewpoint and/or sensor vary beyond relatively small changes. Further, extant image-based registration technology has only been demonstrated to support video-to-reference image alignment when initialized to within several hundred pixels of the correct result [23]. Due to errors, drop outs and otherwise limited availability of telemetry, ineffective a priori knowledge of relative video/reference image alignment is a real-world problem.

The developed approach allows video-based image descriptors to index directly into a reference image database. Successful indexing into the database implies that approximate position of the video relative to the reference has been recovered; this information can then serve to initialize extant technology for video-to-reference registration. The approach provides uniform representation of video and reference imagery and a corresponding method for quantifying the goodness of match between two image samples. The representation combines image appearance, characterized in terms of texture defined regions, and image geometry, characterized in terms of spatial relationships between textured regions. By construction, the matching method is robust to a range of photometric and geometric distortions between image sources, including changes in grey-level contrast and affine geometric transformations. The developed approach has been algorithmically specified and instantiated in software. Empirical evaluations with a reference image database derived from orthoimages of distinct geographic locations that is indexed via synthetic aerial video document the promise of the approach.

**Technical approach:** The approach to indexing video to reference imagery involves a novel integration of regional appearance descriptors and geometric relationships between regions. Previous image indexing research has tended to concentrate on only appearance or only geometry [24]. The philosophy of the proposed approach is that the combination of these two sources of information will yield a more

discriminative approach than either one alone. Image appearance is characterized in terms of texture descriptors. Texture is employed as it is manifest in any imagery source (e.g., unlike colour, which depends on capture of multiple spectral bands). Geometric relationships are captured in terms of an affine invariant, which provides robustness to the range of variation that is anticipated in matching imagery of concern, i.e., aerial video to orthophoto reference imagery.

**Appearance:** When observed through the field of view of any single image in a video sequence, appearance can be ambiguous due to lack of context. For example, a single frame that is completely filled by uniform forest canopy would be hard to discern from another such frame.

The proposed solution to this challenge is to consider not individual video frames in isolation, but rather to mosaic collections of frames across a video into a single larger format image and use the mosaiced image as the basis for subsequent indexing to reference. In the current system, a commercially available image mosaicing software tool is used to perform the necessary processing [25].

For texture-based appearance descriptors, standard methods in computer vision are followed to capture image structure in terms of statistics of energy across multiple scales and orientations. In particular, given a region of interest, the image data is filtered with a set of quadrature-pair bandpass filters, tuned for multiple scales and orientations. The derived images are pointwise rectified and combined in quadrature. Finally, each image is pointwise normalized through division by the sum of all rectified image values at the same point. This normalization procedure provides for invariance to local image contrast, as local energy in each band is given as a percentage of total energy across all bands. The result yields a set of normalized energy images that parse the original image data according to scale and orientation with robustness to particulars of local image photometry. In the current implementation, 4 orientations and 4 scales are used in filtering.

The derived energy images capture local image appearance, i.e., they provide pointwise characterization. As texture is a regional property of an image, the pointwise measurements are clustered to provide a spatial segmentation of the imagery into regions of uniform texture. To perform the clustering, a modification of an extant approach is employed [26]. This approach is based on clustering regions so that within cluster variation is small relative to between cluster variation. While the original method made use of simple grey-level images and intensity differences to calculate variation, the current approach makes use of the derived energy images and the inner product to calculate variation. These modifications are motivated by the present concern with texture-based appearance descriptors.

Given the recovered region segmentation, the energy image information is accumulated across each region by computing the mean response within each band. This yields a 16 dimensional vector (4 scales x 4 orientations) that serves to represent the appearance of the region. This same representation is used to characterize image appearance of regions in a video of interest as well as reference orthoimages.

As defined so far, the appearance representation is sensitive to rotation. Oriented texture appears differently under in plane rotations. Robustness to rotation between the probes and the database entries is important as it corresponds to view changes between the sensor platforms. The solution to this challenge lies in the fact that rotation space is cyclic, e.g., rotating the image by 360 makes no change. This fact is exploited to make representation robust to rotation by aligning two representations in rotation space. In particular, for two texture vectors to be compared, one is systematically rotated with respect to the other and for each relative orientation the inner product is calculated. The rotation that achieves the largest inner product is taken as the aligning transformation.

Another important challenge arises with respect to scale invariance. Multiscale texture appears different under variable spatial resolution. The employed approach to scale invariance is similar to the approach to

rotation invariance, except for the fact that scale is not cyclic, i.e., systematic scale change never returns to the starting scale. Still, an approach can be realized based on consideration of matches that are shifted in scale. In particular, given two texture vectors to be compared, one is systematically shifted with respect to the other in scale and the inner product is calculated. The shift that achieves the largest inner product is taken as the aligning transformation.

**Geometry:** To capture geometric relationships between image texture patches, an affine invariant is used. Analytically, affine transformations capture the motion of a plane under orthography. In practice, affine transformations of an image have been widely used in computer vision to compensate for viewpoint changes in cases where the relief of an object is small compared to the viewing distance, such a model is especially popular in the analysis of aerial imagery.

For current concerns, matters can be formalized with reference to a set of four image regions and their centroids. Three of the region centroids are used to establish a two-dimensional basis; the coordinates of the fourth centroid are projected on the basis to achieve affine invariance. Notice that given a basis set defined in terms of 3 regions, it is possible to represent an arbitrary number of additional regions in terms of the established basis set. In the current work, a single additional region is employed to investigate the discriminatory power of a small set of regions; thus, the relative geometry of the four patches is captured by the pair of numbers,  $a$  and  $b$ .

Working with a set of four image regions leads to twelve different ways to specify a basis set for specifying the affine invariant coordinates of the remaining region (i.e., 12 ways to choose 3 distinct items from a set of 4). Following previous work [27], the reference image database is built with redundancy, so that for each model (i.e., reference image represented by 4 texture patches) 12 database entries are created, one for each choice of basis points. Subsequently, given a video probe characterized by four texture patches, any three patches can be selected to define the basis for the pair,  $(a,b)$ , that is to be compared to the database: All possible choices are represented in the database. In practice, the set of three centroid coordinates that most nearly yields an orthogonal frame is selected as it will be relatively resilient to centroid localization errors.

**Combined appearance and geometry:** To combine geometry with appearance, geometry is used as a prefilter for appearance-based matching. In particular, coarse quantization of the geometric parameters,  $(a, b)$ , are used to define a two-dimensional look-up table. Each cell in the table is filled with the appearance vectors (i.e., oriented energy vectors) for reference images whose derived geometric parameters are covered by the cell's range. During matching, a probe indexes a cell based on its recovered geometric parameters; subsequently, the best match is based on the largest inner product between the appearance vector of the probe and all appearance vectors contained in the indexed cell.

**Empirical results:** This section describes an experiment that evaluates the effectiveness of the proposed approach for matching video probes to a reference image database. Individual database entries and probes are characterized in terms of quadruples of texture-defined image regions. The appearance of individual patches is captured via their 16 dimensional oriented energy vectors. The relative geometry of patches is captured via their 2 dimensional affine invariants.

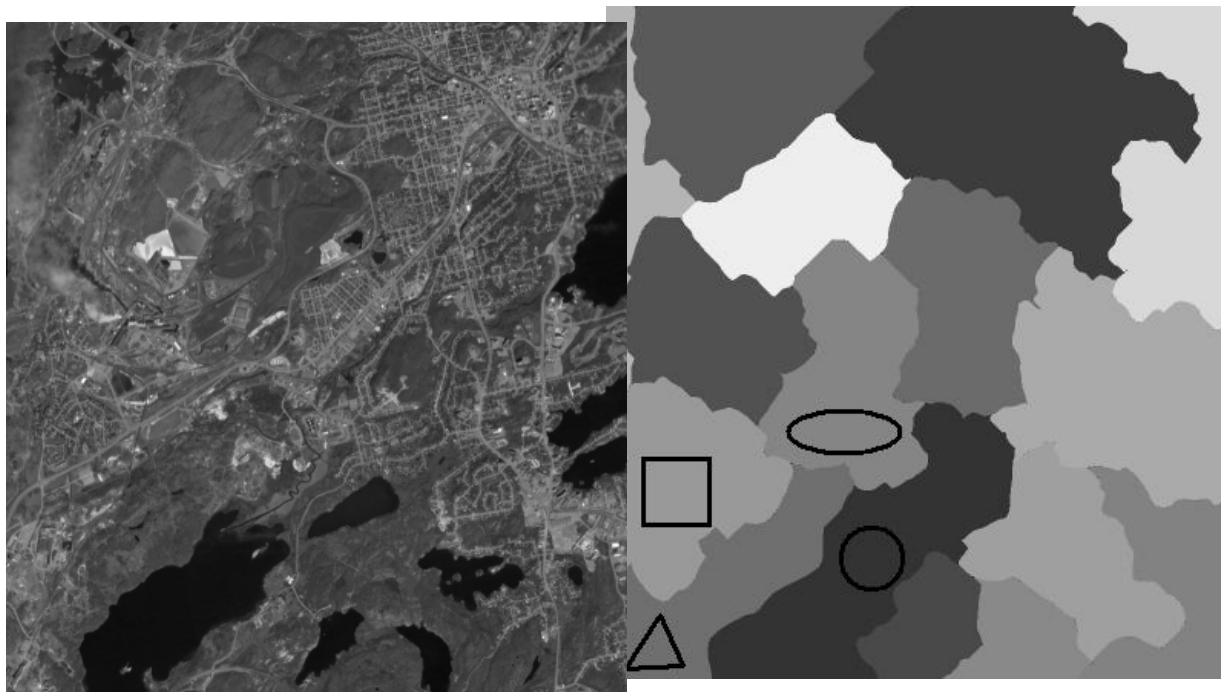
The database was constructed from orthoimages corresponding to 5 different geographical locations. The orthoimages were captured in the visible portion of the spectrum at 8-bits/pixel intensity resolution and at approximately 1 ground meter/pixel spatial resolution. The affine parameters were uniformly quantized into bins of size 0.5, with 1.0 overlap between adjacent bins. These units were chosen based on empirical inspection so as to ensure that geometric-based match pruning would run the gambit between providing almost complete disambiguation of match to no disambiguation of match. Once populated the database

consisted of 587 distinct entries (derived from subregions with the 5 orthoimages) For illustrative purposes, Figure 1 shows imagery for an example database entry.

The probes were constructed as synthetic flyovers of regions corresponding to the 5 orthoimages used to construct the database. For each region, flyovers were generated in two directions (e.g., strips flown north-south or east-west), at 3 spatial resolutions (where image support and resolution allowed) and 2 obliquities (nadir and 30 degrees off nadir). Overall, a set of 32 probes resulted. For illustrative purposes, Figure 2 shows imagery for a probe that corresponds to the database entry shown in Figure 1.

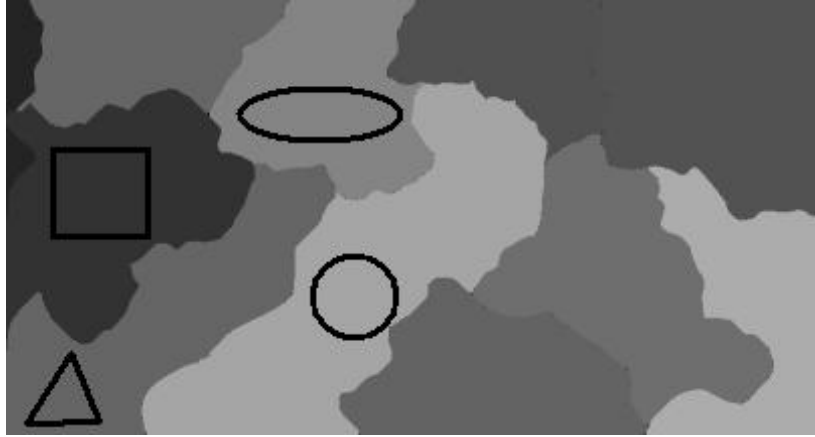
Overall, when the 32 probes were indexed into the database by the described method, it was found that the top ranked match was the correct match 75% of the time. Further, the correct match was within the top 2 ranked matches 88% of the time and within the top 3 ranked matches 100% of the time. Also considered were attempts to index based purely on the basis of appearance (i.e., ignoring the geometric prefilter); in this case inferior match accuracy was observed, which underlines the importance of joint consideration of appearance and geometry in image indexing.

**Summary:** In this report a method was presented for matching between aerial video and corresponding reference orthoimagery, as typical of geospatial databases. The method combines image appearance, characterized in terms of texture defined regions, and image geometry, characterized in terms of spatial relationships between textured regions. By construction, the matching methods are robust to a range of photometric and geometric distortions between image sources, including changes in greylevel contrast and affine geometric transformations. Empirical investigations suggest the promise of the approach. The developed approach can serve as an enabling preprocessing step for extant approaches to video-to-reference image registration. In particular, it can serve to initialize automated image registration algorithms by providing approximate spatial position of the video relative to the reference. An important direction for future research is to subject the method to additional empirical evaluation, especially evaluation that employs real operational data.



*Figure 13. Example Database Entry. The left panel shows an original orthoimage. The right panel shows the automatically selected regions of interest with overlaid geometric symbols (circle, ellipse, square, triangle) highlighting a quadruple corresponding to a single database entry.*





*Figure 14. Example Video Probe. The top panel shows a single frame of a flyover of a portion of the orthoimage shown in Figure 1. The middle panel shows an image mosaic of the flyover video. The bottom panel shows the automatically selected regions of interest with overlaid geometric symbols (circle, ellipse, square, triangle) highlighting the correspondence to the database entry in Figure 13.*

## 6.2 AVS LIDAR for detecting obstacles inside aerosol

X. Zhu<sup>†</sup>, P. Church and M. Labrie

*Neptec Design Group Ltd*

<sup>†</sup>*Presented paper (photograph below)*



**Abstract:** The ability to detect obstacles or ground inside aerosols that are small particles suspended in the atmosphere is a highly sought-after feature for numerous helicopter operations. Helicopter pilots need visual assistance for safe flight and landing during white-out conditions that can be produced by natural weather phenomenon such as fog or a snow storm, or can be formed by circling snow clouds generated by a helicopter's rotorwash. Similarly helicopter pilots need to see obstacles or ground under brown-out conditions, in which dust clouds are generated by a helicopter's rotorwash during landing on a sandy area. This paper describes a specially designed AVS LIDAR for detecting obstacles inside aerosols for helicopter operation.

AVS (Augmented Visionic System) is a vision assistant system designed to help helicopter pilots navigate under extremely poor weather conditions. One of the key aspects of AVS is the utilization of active sensors to detect obstacles and provide scenes behind aerosols under poor weather conditions. Since LIDAR can use the gating function of timing discrimination to suppress the effect of scattering from dust and fog, it can generally "see" farther than passive sensors such as human eyes and IR cameras, complimenting passive sensors for AVS. The challenge of using a LIDAR under aerosol conditions is not only the requirement of high laser power for penetrating aerosols, but also the requirement of high detection dynamic range and the suppression of aerosol scattering in front of the LIDAR. Although flash LIDARs or gated laser cameras can use timing-discrimination functions to suppress the signals from aerosols, they generally don't have enough optical power to penetrate aerosol and to cover a reasonably large area. Conventional scanning LIDARs have been used to detect obstacles inside aerosol with limited success. They normally use optics that has a co-aligned launching beam and returning beam before the scanning optics. Consequentially, the returning beam from a target is always imaged back onto the receiver regardless of the range to target. The scattering from aerosol in front of a LIDAR window can saturate the receiver before any further signal processing can occur. Neptec AVS LIDAR uses an autosynchronized optical design, which utilizes a triangulation relationship to control the amount of returning beam accepted by the TOF (time-of-flight) receiver as a function of target range. The design also maintains this property during high-speed optical scanning. As a result, AVS LIDAR can suppress the return signals from nearby aerosol scattering and, at the same time, have a sensitivity and dynamic range to detect obstacles or ground inside aerosol. Neptec has conducted experiments to study the effect of atmospheric aerosols scattering on LIDAR, FLIR and human vision by using a propagation and aerosol evaluation corridor at DRDC Valcartier, Québec, Canada. Neptec has also carried out flight tests of a

concept AVS LIDAR on a NRC Bell 412 helicopter around the shore of the Crash Lake located in the north of Ottawa, Canada. In this paper, the concept of the AVS LIDAR that is uniquely designed to penetrate aerosols and its applications in helicopter landing will be described; and the results on aerosol penetration and obstacle detection will be discussed.

## 6.3 Experimental validation of an NVD parametric model

Paul J. Thomas<sup>†\*</sup>, Sion Jennings\*\*, Todd Macuda\*\*, Robert S. Allison\*\*\*, and Richard Hornsey\*\*\*

*\*Topaz Technologies, Toronto*

*\*\*Institute for Aerospace Research, National Research Council of Canada, Ottawa*

*\*\*\*Centre for Vision Research, York University, Toronto*

*<sup>†</sup>Presented paper (photograph below)*



**Overview and Purpose:** As part of the effort to create realistic synthetic imagery, it is important to accurately model fluctuations in the NVG output signal for weak, uniform input irradiance. The NVG model was designed to facilitate comparisons with laboratory experiments. In particular, the model created synthetic “weak-signal NVG images” of a scene one photon event at a time by a statistical treatment of the creation of photoelectrons at the photocathode of the NVG. Temporal and spatial statistics of such synthetic imagery could be compared in detail to laboratory experimental results. More intense NVG images were treated as the sum of a sequence of weak-signal images, where the NVG parameters could vary between images. This methodology allowed the modeling of point spread (optical and NVG halo) and automatic gain control in a manner that was convenient for comparisons with experiments. This work describes a weak-signal model that was used to create synthetic imagery. The synthetic imagery was then evaluated using statistical parameters calculated from the imagery. Comparisons were made with laboratory measurements, down to the single-photon level of signal. Of particular interest was the spatial/temporal probability of photoelectron creation.

**Background:** In military simulators, frame rate and spatial resolution considerations can limit the time available for the generation of each frame of an NVD scene model. It is expected that there will be a concomitant reduction in image ‘fidelity’. For psycho-physical experiments, small effects can sometimes bias the results in a highly nonlinear manner, so that image ‘fidelity’ is expected to be important. Hence, it is desirable to verify that synthetic images (from a simulator) being used for such experiments are free of spatial or temporal anomalies that are generated by the simulation process itself. A ‘laboratory model’ of NVG output need not have severe constraints on frame rate or spatial resolution, and so can take the time needed to accurately model the physical processes within the NVD. An image-generation process that closely follows the physical processes involved in the NVD is expected to provide better ‘fidelity’ than a generator for which operating speed or other parameters are the most important design criteria.

An important example is the signal shot noise due to the Poisson random process by which photoelectrons are generated. The fundamental physics of the creation of an isolated photoelectron is well known. With a sufficiently weak input irradiance, each channel of the image intensifier of the NVG can be considered independent, and sequential signals on the same channel can be made far enough apart (on average) as to also be independent. This approach uses the assumption that photoelectron events pass through the NVG very rapidly compared to the average time between events or to the time for recovery of an NVG channel after an electron-multiplication event.

The 'weak-signal' assumption was met for typical irradiance conditions by choosing a short-enough time duration (a 'time slice') for the application of the model. The process was repeated for subsequent time slices. Between time slices, the state of the NVG (eg the gain) could be varied to match the expected physical effects. The photosignals from different time slices were summed to give the total output over the desired integration time (eg 50 msec). While this method for modeling NVG output is easily justified from a physics standpoint, it can take significant computational time if the time slice is small compared to the integration time, and so the method is not generally useful for a real-time simulation. However, the realism of the model is expected to be excellent, and can be compared to experiments at the lowest level of signal – the creation of a single photo-electron. Measures for 'realism' are needed, and these measures must be quantitatively verifiable in the laboratory.

Suitable laboratory physical (as opposed to psycho-physical) experiments can validate such a 'time-slice model' and can point out statistical characterizations of the synthetic imagery that are sensitive indicators of inappropriate model behaviour. Once a robust set of characterizers has been developed, it can be applied to simulator outputs to identify potential anomalies.

#### **Laboratory Evaluation System:**

**a) Photon Events:** To measure the statistics of the (highly non-uniform) images created from weak photosignals from a uniform source, the response of an NVG to individual photon events was measured by reimaging part of the fluorescent screen of the NVG onto a photomultiplier. The photomultiplier noise was readily distinguished from the NVG signal at the output of the fluorescent screen by a binary threshold on signal amplitude. (The means and halfwidths of the two amplitude distributions are generally very different.) This method was a sensitive measure of NVG temporal response at light levels low enough that individual photon events were well separated in time. Both the experiments and the weak-signal model measured individual photo-electron creation events, and so the model could be compared to experiment at the most fundamental level.

**b) Halo Imagery:** For measurements of the spatial response of an NVG to a localized light source, a camera replaced the NVG eyepiece and recorded an image of the fluorescent screen (of the NVG). The amplitude of the light source could be varied over 5 decades by pulse-width modulation.

**c) Temporal Behaviour:** A 'pump-probe' configuration of the light source in the camera setup was used to examine the temporal behaviour of the NVG parameters, particularly the automatic gain control (AGC), at higher signal levels.

**Statistics of Photon Events:** The photomultiplier apparatus was able to measure the response of the NVG to single-photon events with a time-resolution of better than 10 microseconds. The spatial resolution was adjustable. Only a single, contiguous region of the fluorescent screen of the NVG was imaged at any time. From the time decay of the single-photon events, the decay constant of the fluorescent screen was determined. Histograms of the time between photon events and event amplitudes validated the Poisson nature of the photodetection process in the NVG and provided experimental data for sensitive comparisons of modeled imagery against those from a physical NVG.

**Halo Imagery and temporal behaviour:** A commercial digital camera was used to record the output of the fluorescent screen of the NVG in response to a light source whose range, aperture and intensity could be precisely controlled. Average intensity was precisely varied by changing the duty cycle of the LED light source, which was operated in pulsed mode. The apparatus could model halo phenomena. A second, synchronized, light source was used to set the state of the automatic gain control of the NVG. By control of the timing of the light sources, the temporal behaviour of the automatic gain control of the NVG was experimentally determined.

## 7 Technologies

---

### 7.1 Développement d'un engin de projection de format VGA basé sur les modulateurs analogues réfléchitifs flexibles (FRAM) et compatible avec le standard DVI

Francis Picard<sup>†\*</sup>, François Duchesne\*, Michel Jacob\*, Carl Larouche\*, Carl Vachon\*, et Keith Niall\*\*

*\*INO, Québec City*

*\*\*Recherche et développement pour la défense Canada-Toronto*

*<sup>†</sup>Papier présenté (photographie ci-dessous)*

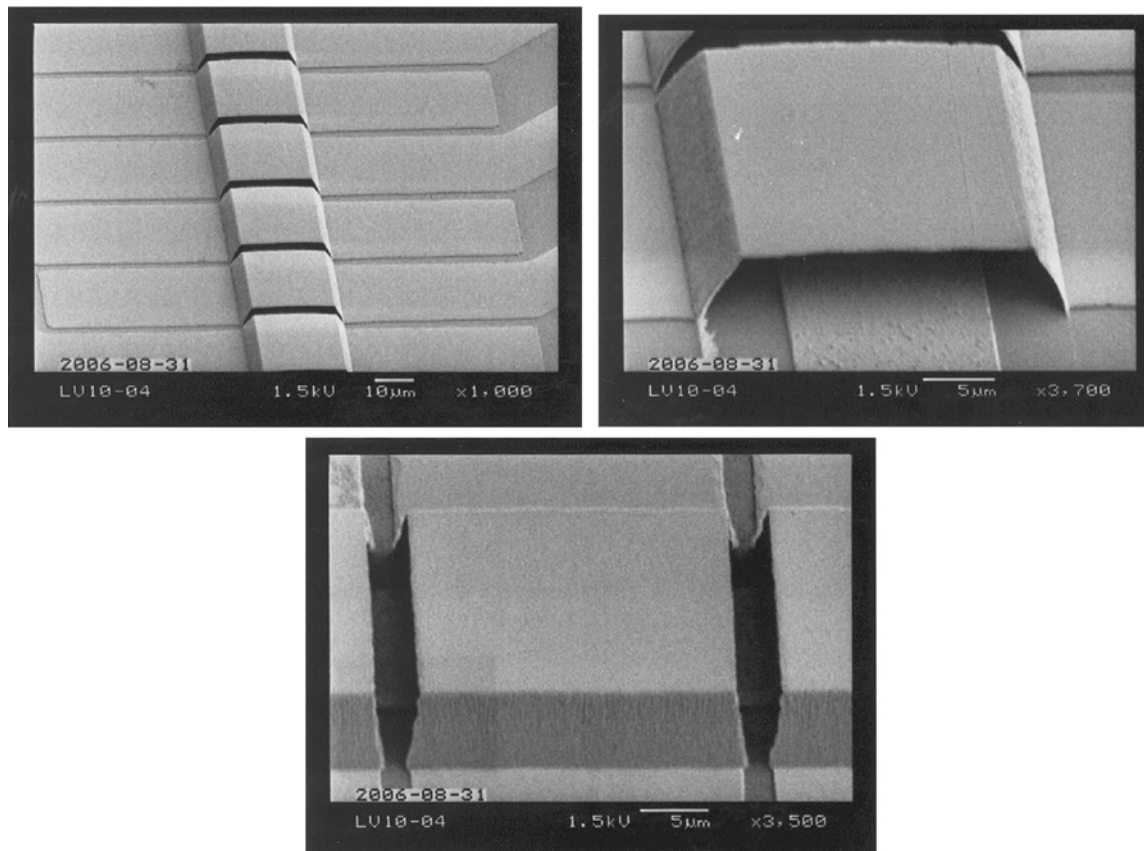


**Introduction :** Le développement d'un engin de projection de format VGA basé sur les Modulateurs Analogues Réflexitifs Flexibles (FRAM) et compatible avec le standard DVI est rapporté. La technologie FRAM a été développée il y a quelques années [12, 13, 14, 15]. Cette technologie repose sur des micro-miroirs simples produits en utilisant des procédés typiques pour la fabrication des MOEMS. Elle a l'avantage d'offrir un procédé de production simple (3 niveaux de masquage), un temps de réponse rapide (moins de 5  $\mu$ s) et d'être insensible à la longueur d'onde d'opération sur de grandes plages spectrales. De plus, la modulation de la lumière avec ces micro-dispositifs ne demande pas de réaliser des micro-miroirs présentant un état plan de très haute qualité optique difficile à obtenir mais nécessaire pour d'autres technologies de modulation basées sur les MOEMS.

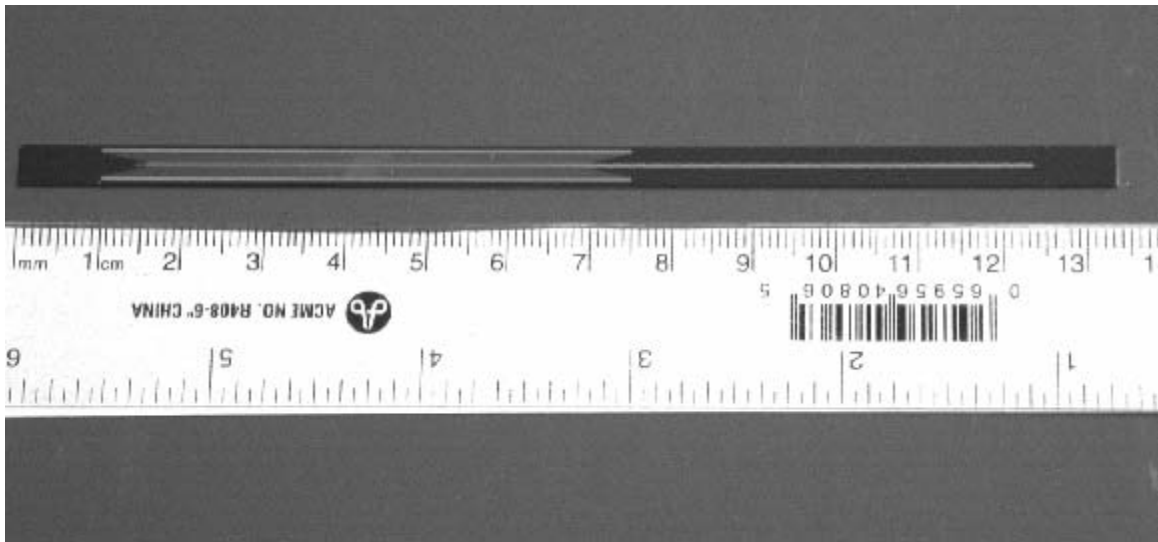
**Tests et sélection de barrettes de FRAM pour la mise en boîtier :** Un défi principal du développement de l'engin de projection était la mise en boîtier de puces FRAM présentant un grand nombre de signaux d'entrée (481). Pour la mise en boîtier de telles puces, l'approche puce-sur-carte a été sélectionnée. Des barrettes de FRAM 480 x 1 appropriées pour cette approche de mise en boîtier ont été conçues, fabriquées et testées (Figure 1). De très grandes barrettes (4000 x 1) (Figure 2) ont aussi été produites durant la période de fabrication ce qui a confirmé la faisabilité de telles barrettes. Les tests en eux-mêmes représentaient un défi. En effet, il était critique de sélectionner une barrette de FRAM 480 x 1 avec un pourcentage de fonctionnement des pixels aussi haut que possible. Atteindre ce but impliquait que les barrettes de FRAM fabriquées devaient être inspectées et testées avec soin. En pratique, tester tous les FRAM de plusieurs barrettes 480 x 1 avant la mise en boîtier n'est pas simple. La difficulté ici est que le temps et le coût requis pour ces tests doivent demeurer raisonnables. Ceci requiert que plusieurs FRAM soient activés et testés en même temps. L'activation de plusieurs FRAM (60) a été réalisée avec une carte

à pointes conçue sur mesure combinée à une station de test. La réponse des FRAM activés était observée à l'aide d'un banc de test optique intégré à la station de test. Ce banc de test était une version réduite et légèrement modifiée du système optique utilisé dans un projecteur. Une ligne de lumière illuminait plusieurs FRAM et la lumière réfléchie par les FRAM passait à travers une optique Schlieren pour produire des pixels dans le plan image localisé à la sortie d'un relai optique. Une caméra et un moniteur produisaient une image agrandie des pixels. Ceci fournissait une façon commode pour vérifier le fonctionnement de milliers de FRAM relativement vite en observant les changements d'intensité des pixels quand le voltage appliqué aux FRAM était varié. La Figure 3 présente le montage de test complet (station de test, carte à pointes et module optique)

**Mise en boîtier d'une barrette de FRAM :** Une barrette de FRAM 480 x 1 a été sélectionnée pour la mise en boîtier finale en utilisant cette méthode combinée à des mesures complémentaires réalisées avec un microscope interférométrique. Un assemblage carte flexible/boîtier métallique a été utilisé pour implémenter l'approche de mise en boîtier



*Figure 15. Barrettes de FRAM avec une membrane de 300 nm d'épaisseur.*



*Figure 16. Barrette de FRAM 4000x1*



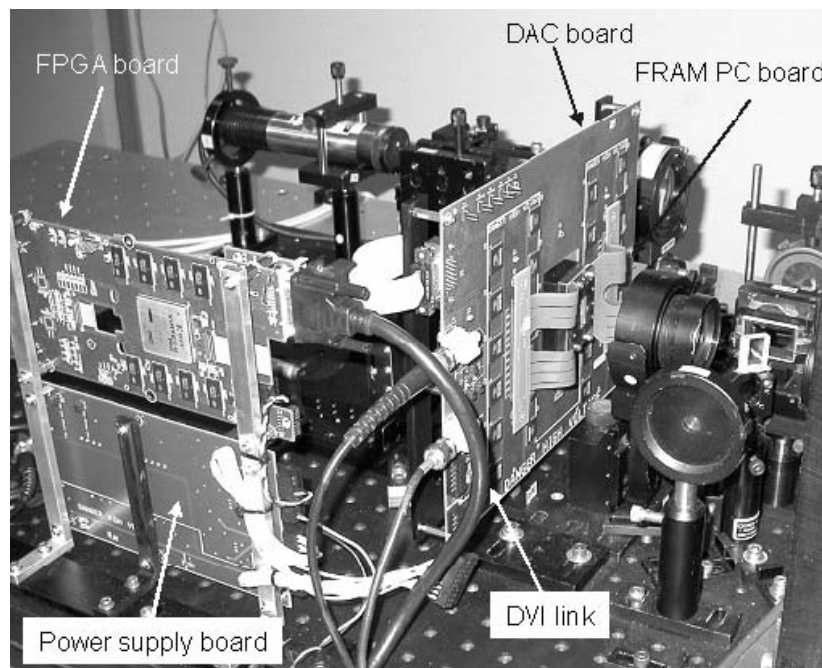
*Figure 17. Barrette de FRAM 480 x 1 en boîtier.*

puce-sur-carte sélectionnée (Figure 3). A l'intérieur de l'assemblage, chaque FRAM est connecté électriquement à la carte de circuit imprimé flexible par microcâblage. Un boîtier placé par-dessus la barrette de FRAM et serré sur la carte fournit une enceinte hermétique permettant l'opération de la barrette de FRAM dans une atmosphère inerte d'azote sec. Il procure aussi une protection mécanique à la

barrette. Il est équipé d'une fenêtre optique. De petites ouvertures d'entrée et sortie refermables permettent la régénération de l'atmosphère inerte si nécessaire.

**Electronique, logiciel de contrôle et assemblage final :** Le lien entre l'assemblage puce-sur-carte et l'électronique de contrôle est assuré par des connecteurs standards présentant un nombre élevé de broches de raccordement. Cette électronique de contrôle sur mesure et le logiciel de contrôle associé ont été développés pour permettre le transfert des données des images vers la barrette de modulateurs. L'électronique de contrôle comprend une carte DAC, une carte FPGA et une carte d'alimentation. L'électronique conçue et le logiciel associé sont compatibles avec le standard Digital Video Interface (DVI). Cela permet la projection d'une variété d'images incluant des images fixes et des séquences d'animation. Avec l'engin de projection résultant, des images de définition VGA peuvent être affichées à une cadence de 60 Hz.

Une partie de l'électronique de contrôle et le boîtier sont montés sur des supports de positionnement. Ces supports permettent un alignement optique précis de la barrette de FRAM. Le plein fonctionnement de l'engin a été vérifié en l'intégrant (Figure 5) à un banc de test existant et en projetant des images fixes et des animations.



*Figure 18. Le module optique intégré à la station de test équipée d'une carte à pointes conçue sur mesure.*

## 7.2 Brillance et contraste des images projetées par des projecteurs vidéo à laser

Michel Doucet<sup>†\*</sup>, Mélanie Leclerc\*, Francis Picard\*, et Keith K. Niall\*\*

*\*INO, Québec City, Québec*

*\*\* Recherche et développement pour la défense Canada - Toronto*

*<sup>†</sup>Papier présenté (photographie ci-dessous)*



**Introduction :** Les projecteurs vidéo à laser (LBVP) sont relativement nouveaux sur la scène de l'affichage vidéo. De tels projecteurs utilisent des faisceaux laser qui sont balayés et modulés en synchronisme avec le balayage. Une particularité du LBVP est la durée de vie très courte des pixels. Chaque pixel produit de la lumière seulement durant le temps très court correspondant au passage du rayon laser sur le pixel. Les variations très rapides du signal optique font en sorte qu'il est plus difficile de mesurer les propriétés des images produites par LBVP en comparaison avec le cas des dispositifs d'affichage conventionnels. On peut même douter de la validité des résultats lorsque des méthodes conventionnelles sont employées pour mesurer les caractéristiques des images produites par un LBVP. Cet article présente une méthode alternative pour la caractérisation de la brillance et du contraste des images de LBVP qui devrait fournir des résultats plus fiables.

**Méthode conventionnelle :** L'évaluation de la brillance et du contraste d'un affichage se fait conventionnellement en utilisant un téléphotomètre. Comme son nom l'indique, le téléphotomètre permet la mesure de la lumière à partir d'un point éloigné. Le téléphotomètre se compose d'une lentille qui projette l'image de la scène sur un détecteur et de deux pupilles qui définissent l'enveloppe effective du faisceau de lumière qui parvient jusqu'au détecteur. Dans le contexte de la caractérisation d'un dispositif d'affichage, le téléphotomètre est pointé sur une petite portion de l'écran et collecte les rayons venant uniquement de cette zone d'observation. Seulement une fraction de la puissance optique atteint le détecteur du téléphotomètre. Dans le cas de LBVP, il est difficile de mesurer le signal optique puisqu'il est relativement faible et comprend de très rapides variations de puissance.

**Méthode alternative proposée :** Un signal optique à variation rapide peut être mesuré et caractérisé avec précision à condition d'être assez fort. Afin de faciliter la mesure des caractéristiques des images de LBVP, il y aurait avantage à changer le paradigme de détection de manière à assurer un plus fort signal optique sur le détecteur de l'appareil de mesure. La méthode alternative proposée vise à atteindre ce but. Cette méthode alternative implique de mesurer l'éclairement (puissance optique par unité de surface) dans le plan situé juste devant l'écran [16]. La radiance ou la luminance est alors déterminée par calcul en utilisant les mesures des propriétés de réflectivité de l'écran.

Dans la méthode proposée, l'éclairement est mesuré à différents points dans le plan ou la surface située immédiatement devant la surface normalement occupée par l'écran. La figure de test proposée pour la mesure est un échiquier de 10 carreaux (5 éclairés, 5 noirs) sur 10. La mesure de l'éclairement est effectuée au milieu de chacun des carreaux brillants. Pour chaque position d'échantillonnage, une première mesure est effectuée pour la valeur maximum de l'éclairement, et une seconde est effectuée pour la valeur minimum avec la figure de test en inverse vidéo.

Certains types d'écrans modernes possèdent des microstructures permettant le contrôle des propriétés directionnelles de dispersion de la lumière. Pour de tels écrans, les propriétés de dispersion dépendent généralement de la direction incidente de l'illumination. La représentation mathématique des propriétés de la réflectivité de l'écran qui est employée pour le calcul de luminance est la fonction de distribution bidirectionnelle de la réflectivité (BRDF) [17]. La BRDF donne la radiance réfléchiée par unité d'éclairement incident pour n'importe quelle direction de réflexion et n'importe quelle direction d'illumination. Il existe des appareils spécialisés permettant la mesure de la distribution spectrale de la BRDF de façon efficace. La méthode implique qu'une portion de l'écran soit sacrifiée pour la mesure de la BRDF. Disposant de la BRDF spectrale de l'écran et d'un échantillonnage de l'éclairement d'écran, la luminance peut être déterminée pour n'importe quelle position d'observateur et n'importe quel point sur l'écran en utilisant un logiciel dédié.

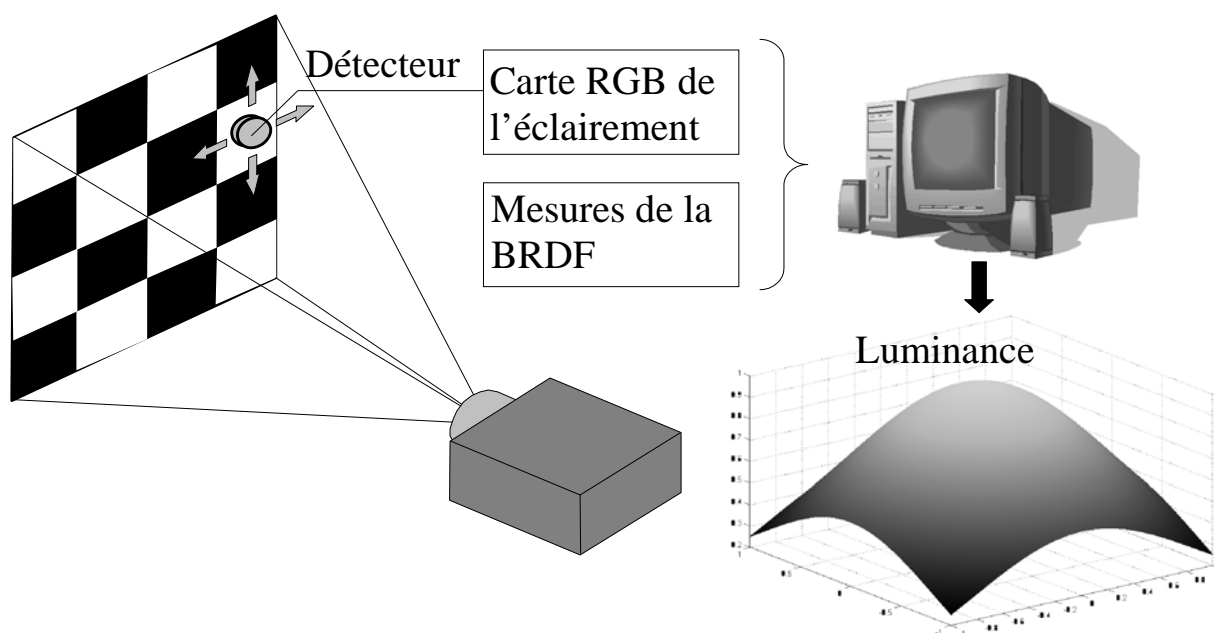


Figure 19. Description schématique de la méthode.

**Considérations pratiques :** Certains aspects pratiques doivent être considérés pour la mise en œuvre de la méthode proposée. Les plus importants concernent la lumière parasite et l'échantillonnage. La lumière parasite peut avoir un impact significatif sur les résultats et les échantillonnages spatial et temporel du signal optique peuvent également occasionner des erreurs s'ils ne sont pas faits correctement.

La lumière parasite est produite par le projecteur lui-même et par l'environnement ambiant. Le voile lumineux (veiling glare) est généré par des réflexions indésirables sur les surfaces optiques de l'objectif et sur les pièces mécaniques du projecteur. Il augmente avec la quantité totale de puissance optique contenue dans l'image projetée. L'illumination ambiante et la rétrodiffusion sur les murs et les objets sont les deux principales sources de lumière parasite causée par l'environnement. Une telle lumière parasite est

spécifique au lieu où se fait la projection. La rétro réflexion parasite se produit quand la lumière venant de l'écran est rétro réfléchi vers l'écran par les murs et les objets présents dans la pièce. La lumière parasite affecte considérablement le contraste de l'image projetée puisqu'elle ajoute une intensité de fond sur l'écran. L'échiquier de 10 par 10 a été choisi de manière à produire l'inévitable voile lumineux dans une proportion représentative de ce que l'on retrouve dans le cas de la projection d'une image normale. Une telle figure de test contient environ la moitié de la puissance optique maximum disponible et produirait donc environ la moitié de la quantité de voile lumineux possible. Le choix d'une figure de test avec moins de puissance optique réduirait la quantité de voile lumineux produit et résulterait en une estimation du contraste qui serait non représentative du contraste pour une image type. La détérioration du signal par la lumière parasite de cause environnementale change d'un endroit à l'autre et constitue donc un problème pour la standardisation des mesures. Heureusement, il existe des techniques simples pour surmonter de tels problèmes. La contribution de la lumière parasite dépendante de l'environnement peut être mesurée et puis soustraite du signal utile. Ceci est fait en mettant le détecteur optique dans l'ombre d'un masque opaque noir. La lumière du projecteur (voile lumineux compris) est bloquée et seulement l'illumination ambiante et la rétro réflexion parasite peut atteindre le détecteur optique.

Le procédé d'échantillonnage requis pour la caractérisation d'un phénomène doit pouvoir tenir compte de la distribution spatiale aussi bien que des fluctuations temporelles du phénomène en question. Dans le cas de la caractérisation d'une image LBVP, une attention particulière doit être portée aux problèmes liés au tramage de l'image et aux variations rapides du signal optique dues au balayage. Selon la technologie de LBVP, il peut y avoir des zones mortes entre les pixels ou à l'intérieur de chacun d'eux. De telles structures périodiques peuvent induire des erreurs de mesure lorsque les dimensions du détecteur optique ne comprennent pas un nombre entier de périodes de la structure. Selon la position du détecteur optique relativement à la matrice de pixels, un nombre plus ou moins important de zones mortes sont incluses dans la surface active du détecteur. Ceci signifie que le signal dépend de la position relative du détecteur optique relativement au treillis de pixels. Ces éventuels problèmes d'échantillonnage spatial peuvent être évités si certaines règles simples sont respectées. Ces règles concernent le nombre de pixel contenus dans la surface efficace du détecteur optique, la forme du détecteur et son orientation par rapport à l'agencement des pixels de l'image.

## 7.3 Modélisation et simulation de sources lumineuses

Jeff Clark<sup>†</sup>, Brett Chladny, Brad Colbert, et Karl Mathia

*Renaissance Sciences Corporation, Chandler, Arizona, USA*

<sup>†</sup>*Papier présenté (photographie ci-dessous)*



Selon les circonstances, les principales sources de lumière d'une scène nocturne sont l'éclairage urbain, les effets des combats et les véhicules. Dans les environnements visés, l'efficacité des capteurs optiques est considérablement et diversement affectée, positivement ou négativement, par la quantité, le type, l'intensité, la position, l'habillage et l'orientation de ces sources. Or, les techniques classiques de simulations reproduisent avec peu de précision les sources de lumière et de leur interaction avec les autres éléments de la scène. Bien que, dans le passé, elles aient été suffisantes pour les besoins modestes de formation aux scènes hors de l'aéronef, les techniques classiques de rendu des sources ponctuelles laissent beaucoup désirer au plan de la reconstitution des difficultés d'utilisation des capteurs à amplification d'image aux fins de la connaissance de la situation, dans les environnements complexes des missions actuelles. Actuellement, on accorde une forte priorité aux missions à basse altitude en terrain urbain comme l'appui aérien rapproché (AAR) ou la recherche et sauvetage de combat (RESCO). Or, si nous voulons assurer avec nos simulateurs, une formation aux éléments de ces missions qui requièrent l'utilisation de ces capteurs dans ces environnements très complexes, nous devons disposer de représentations des sources de lumière beaucoup plus riches, précises et denses.

Tirant parti des travaux connexes dans ce domaine, les travaux de développement de la phase II intégreront les techniques de modélisation des sources ponctuelles, mises au point par la collaboration en R et D des Forces aériennes des États-Unis (USAF), de la direction de l'efficacité humaine du laboratoire de recherches des Forces aériennes des États-Unis (AFRL/HEA) et le programme PMA-205 du commandement des systèmes aéronavals des Forces navales des États-Unis (USN). Nous décrirons les concepts centraux de la modélisation des sources ponctuelles avec des détails suffisamment fins pour produire des modèles physiques de rayonnement nécessaires à la reproduction de la complexité de la scène, avec la précision nécessaire pour son utilisation lors de la formation avec les capteurs. Ensuite, nous présenterons la structure de stockage en architecture ouverte XML produite aux fins de la validation de principe. Pour finir, nous présenterons les résultats de l'utilisation de ces techniques dans un sommaire de travaux connexes, démontrant les prédictions hors-ligne du type, de l'intensité et de la position des sources ponctuelles dans des champs denses d'éclairage artificiel ponctuel, ainsi que la production de cartes de l'éclairement du terrain, fondées sur la physique, pour les simulations.

## 8 Génération d'images

---

### 8.1 Intégration à une simulation existante d'un générateur d'images déployable fondé sur une interface commune de générateur d'images

Robert Wolfe<sup>†</sup>, et Tony Ghoman \*

*\* Recherche et développement pour la défense Canada-Toronto*

*<sup>†</sup> Serenica Technologies Corporation (Papier présenté)*



Un système de génération d'images fournit les images principales pour les simulations visuelles. Il peut se répartir entre son logiciel constitutif (générateur d'images) et ses composants matériels (affichage). Le générateur d'images assure les fonctions de représentation d'images ainsi que les fonctions d'information de mission. Le système est souvent caractérisé par sa capacité à offrir une certaine cadence d'images complètes en fonction d'une définition d'image, d'une complexité visuelle et d'un temps de latence donnés.

Le projet ADDNS a produit un générateur d'images avancé pour la simulation de vol appelé générateur d'images Eagle. Le grand écran et la définition visuelle du projecteur laser Evans et Sutherland connexe fait de ce système un des premiers du genre. Le générateur d'images Eagle se fonde sur le logiciel de génération d'images Multigen FlightIG, lequel offre une interface réseau tributaire de l'interface commune de générateur d'images (CIGI). Le présent document porte sur la démonstration de l'intégration du nouveau générateur d'images utilisant le CIGI de concert avec le simulateur multitâches d'instruction de mission avancée à distance pour le CF-18 situé à RDDC Toronto. En opérations normales, le simulateur multitâche fait appel à un système de génération d'images MetaVR à canaux multiples avec affichage sur huit écrans plats de projecteur à l'intérieur d'un dôme.

Le CIGI est un protocole réseau créé par Boeing qui définit le format et le contenu des paquets CIGI, mais non la façon selon laquelle ils sont communiqués sur le réseau. Boeing a rendu publique sa trousse de développement de logiciels pour le CIGI en 2001 afin de promouvoir l'utilisation d'une interface de générateur d'images ouverte en simulation visuelle. La mise au point du logiciel de soutien du CIGI se poursuit aujourd'hui dans le milieu des sources ouvertes. Le CIGI découle du générateur d'images, sans doute fondé sur le principe que le cadre absolu des images complètes du générateur d'images est fixe ou très difficile à modifier, compte tenu de caractéristiques comme le verrouillage de synchronisation.

Idéalement, l'hôte doit être en mesure de répondre au générateur d'images au moyen des données convenant à la fréquence du générateur.

Une foule d'éléments compliquent l'intégration de toute simulation d'hôte au sein d'un générateur d'images. Ces éléments sont complexes dès lors qu'il s'agit d'intégration à un hôte qui change d'un générateur d'images à l'autre, à plus forte raison lors de l'intégration juxtaposée à un générateur d'images hétérogène. L'approche adoptée pour intégrer le générateur d'images Eagle au simulateur multitâches consiste à juxtaposer la démonstration de la visualisation habituellement utilisée par le simulateur multitâche à une réplique du premier canal du générateur d'images Eagle au moyen du protocole CIGI pour contrôler le point de vue seulement. Une approche analytique générique visant à faciliter l'intégration consiste à déterminer la portée du générateur d'images existant, à la comparer avec le nouveau protocole du générateur d'images et à substituer l'information et les messages appropriés de l'hôte dans le nouveau protocole. L'intégration complète du simulateur multitâche au générateur d'images Eagle est beaucoup plus complexe que l'intégration du point de vue, et elle se situe bien au-delà de la portée de la présente étude. Le processus d'intégration suit les étapes de la comparaison des messages graphiques d'origine du simulateur multitâches par rapport aux messages CIGI équivalents (qui pourraient être utilisés pour déterminer la portée d'une intégration complète du simulateur multitâches), l'assemblage d'appels de code de source API bien ordonnés du CIGI et l'inclusion des données du simulateur multitâches dans les messages CIGI.

Afin de faciliter l'intégration, une juxtaposition des équivalents CIGI aux messages ChannelSurfer utilisés par le simulateur multitâches a été préparée. Les paramètres importants de chaque type de message CIGI sont indiqués. Pour les messages ChannelSurfer, on indique si le message est générique (en-tête seulement), une exigence minimale pour les communications ChannelSurfer ou un message correspondant destiné à la réalisation du protocole d'échange.

Les fragments de codes de pseudo-source fournis montrent quelle séquence d'appels CIGI est nécessaire pour communiquer avec n'importe quel générateur d'images. Les appels sont basés sur le logiciel libre CIGI de Boeing, le même code exploité par Multigen pour créer sa propre application d'émulation d'hôte pour le logiciel FlightIG. D'autres bribes de pseudo-code montrent comment sont intégrées les valeurs du simulateur multitâches aux appels CIGI convenablement séquencés au sein du logiciel du simulateur multitâches.

Différentes questions peuvent avoir compliqué ou facilité le processus d'intégration dont il est question ici.

## 8.2 Avancement de la technologie des générateurs d'images génériques évolutifs dans le cadre du projet de simulation déployable avancé pour la vision de jour et de nuit (ADDNS)

Ray M. Obidowski<sup>†</sup>, et Rajesh Jha

*Array Systems Computing Inc., Toronto*  
<sup>†</sup>*Papier présenté (photographie ci-dessous)*



Le projet de démonstration de la technologie (PDT) du simulation déployable avancé pour la vision de jour et de nuit (ADDNS) exigeait à titre essentiel au moins 16 générateurs d'images (GI) afin de rendre des scènes à 60Hz pour un système de projection laser à très haute résolution, soit plus de 20 millions de pixels.

Array Systems Computing Inc. (Array) a adapté son architecture de processeur de signaux générique (PSG) avancé ScalableGPS pour répondre aux exigences du ADDNS. Le document présenté ici décrit cette solution GI générique évolutive.

Cette solution comprend une configuration en grappes Linux d'ordinateurs personnels (PC) à 16 nœuds, chaque PC étant composé de matériel commercial intégré avec de multiples unités centrales Opteron, cartes graphiques NVIDIA et composants de soutien.

Pour exploiter le matériel et utiliser le rendu réparti, Array a intégré le logiciel d'exécution Flight-IG de Multigen-Paradigm Inc. (MPI) et l'interface CIGI (Common Image Generator Interface) sous Linux Centos.

Il a fallu relever un certain nombre de défis de génie et de conception pendant le développement du GI-ADDNS d'Array. La solution finale comprend les caractéristiques suivantes :

1. Pour l'affichage transparent de plus de 20 millions de pixels sur le projecteur laser à 60 Hz, il fallait synchroniser globalement chaque GI à moins de 10 millisecondes par verrouillage de générateur et verrouillage de trame à l'aide de matériels et logiciels innovateurs. Cette exigence a été vérifiée et validée par des essais détaillés et une commande stricte de la configuration.
2. Le système devait être portable et occuper peu d'espace. Une conception d'économie d'espace a été définie pour chaque GI afin de satisfaire ces exigences. Ces solutions exigeaient le développement et la mise en œuvre de méthodes permettant d'adapter les composants et de réduire la consommation d'énergie, le bruit et la chaleur.

3. Le système GI a été conçu pour pouvoir communiquer avec d'autres systèmes utilisant l'architecture ouverte et les normes associées. À cette fin, on a fait appel au protocole ouvert CIGI (Common Image Generator Interface), à des composants commerciaux et à la distribution Linux Centos. Le système GI a aussi été conçu de façon à assurer l'interface avec d'autres réseaux en utilisant les protocoles de simulation interactive répartie (SIR) et d'architecture évoluée (HLA).

4. Le « pavage » obligatoire 4 x 4 de 16 entrées d'interface vidéo numérique (DVI) pour la construction d'une scène entière par le système d'affichage au moment de l'exécution nécessitait le rendu réparti utilisant des techniques de réseautage avancé dans Linux, y compris la multidiffusion, la synchronisation hôte-entrée et une configuration de nœuds maître-esclave. Ces techniques sont présentées ici en détail.

5. Les exigences en matière de coût et d'exploitation du système réclamaient l'utilisation de composants génériques commerciaux facilement remplaçables, y compris des cartes graphiques modernes avec processeurs graphiques (GPU) évolués.

On développe actuellement d'autres améliorations pour le système GI, y compris des esclaves sans disque avec démarrage à partir du réseau, un serveur de sauvegarde de réseau entièrement intégré et une version à jour du système d'exploitation (Centos 5). Ces améliorations permettent une réduction de 18 à 3 du nombre de disques durs dans la grappe, ce qui simplifie la configuration et la sauvegarde du système, tout en réduisant le nombre de disques durs à protéger en vue de l'utilisation future de données classifiées.

Array a développé et déployé pour le ADDNS un système moderne de générateurs d'images génériques évolutifs, à architecture ouverte, utilisant des composants commerciaux. Le système peut facilement être mis à niveau et étendu à des applications plus exigeantes, comme l'affichage d'un simulateur de vol et des projecteurs laser à résolution supérieure. Parmi les défis à relever à l'avenir, il faut réduire davantage la latence du réseau et accroître la résolution des cartes graphiques afin de supporter les projecteurs laser à haute résolution de la prochaine génération.

### 8.3 Seuil de détection du déplacement visuel dans un simulateur de vol maillé en réseau

Christine M. Covas<sup>†\*</sup>, James P. Gaska<sup>\*\*</sup>, Lt Megan E. Shamp<sup>\*</sup>, et Byron J. Pierce<sup>\*</sup>

*\*Air Force Research Laboratory*

*\*\*Link Simulation and Training*

*†Papier présenté (photographie ci-dessous)*



**Résumé :** Les simulateurs maillés en réseau permettent de faciliter l'entraînement en équipe grâce à la création d'environnements d'exercice et de simulations qui représentent des opérations du monde réel. Cependant, les simulateurs maillés en réseau sont souvent touchés par des problèmes de connectivité, comme le délai du réseau constant et variable. Le délai du réseau peut produire des différences de position ou une gigue visuelle dans la trajectoire de vol d'un modèle mobile pouvant avoir une incidence sur la perception générale des pilotes de la fidélité du mouvement. On peut utiliser des algorithmes de génération d'image, comme le lissage de position de modèles, pour réduire les effets sur la visibilité du délai du réseau. Cependant, l'utilisation du lissage peut aussi contribuer à l'erreur dans la trajectoire de mouvement d'une entité. Dans ces travaux de recherche, on vise à déterminer le seuil de détection du déplacement visuel pour une tâche de vol typique, le vol en formation, comme fonction d'une distance simulée (100, 200 et 400 mètres) et du lissage (pas de lissage ou lissage sur 1 seconde). Les résultats montrent une augmentation importante du seuil de détection avec l'accroissement de la distance. L'ajout du lissage de la position des modèles permet aussi d'accroître la quantité de déplacement visuel nécessaire pour la détection. Enfin, on aborde également dans ce document les conséquences de ces résultats, ainsi que des projets de recherche à venir sur le délai de transport du réseau.

**Introduction :** Pour fournir un environnement réaliste de formation au travail en équipe, on utilise des simulateurs maillés en réseau permettant aux stagiaires d'effectuer des exercices reproduisant des conditions qui prévalent dans la réalité. Lorsque des simulateurs sont maillés en réseau, en particulier sur de vastes régions géographiques, les interactions entre eux deviennent plus complexes. D'après lorsque l'on procède au maillage en réseau de simulateurs, on doit tenir compte de trois problèmes importants reliés au réalisme temporel [18]. Ces problèmes concernent la cohérence temporelle du monde virtuel, les délais et la représentation globale du temps dans un simulateur.

Le réalisme d'une entité faisant partie d'un simulateur maillé en réseau dépend de facteurs comme le délai du réseau, les seuils utilisés pour déterminer quand une erreur de position simulée doit être corrigée ainsi que les algorithmes utilisés pour la correction de ces erreurs de position. Ces facteurs peuvent interagir et produire des différences de position entre la position fournie par un modèle local d'une entité qui est

utilisé pour représenter cette entité et la position réelle de cette entité. La correction de différences de position par l'utilisation du lissage à l'intérieur du générateur d'images (GI) se traduit par une variation de position de l'entité représentée [19]. Cette expérience visait à évaluer les seuils de variation en fonction de la distance du cercle oculaire ainsi que le lissage de position effectué par le GI. Ces données contribueront à un paradigme de recherche plus important pour l'évaluation de l'impact qu'ont les paramètres de réseau sur l'exécution des tâches dans un environnement de simulation de vol.

**Méthodes :** On a fait appel à cinq observateurs pour évaluer les effets qu'ont la distance du cercle oculaire et le lissage de position sur le seuil de détection des variations de position, ou la gigue provoquée par le délai de transport du réseau. La conception de cette expérience englobait deux niveaux de lissage de position (aucun lissage et lissage d'une seconde), trois distances simulées (100, 200 et 400 mètres) et treize amplitudes de variation (entre 0 et 8,192 mètres) pour chaque distance. Nous avons utilisé une formule de mesures répétées pour un total de 2 (lissages)  $\times$  3 (distances)  $\times$  13 (amplitudes de variation)  $\times$  5 (observateurs)  $\times$  15 (répétitions).

Les stimuli étaient constitués d'un ciel bleu et d'un simulateur tridimensionnel réaliste représentant toute la structure d'un F 16. Les scènes visuelles étaient représentées au moyen d'une application de visualisation en temps réel de MetaVR qui s'appelle générateur de scènes de réalité virtuelle [20]. Un logiciel personnalisé, écrit en C++, était utilisé pour le contrôle des caractéristiques, la synchronisation et le séquençage des séquences de mouvement, la communication avec le VRSG ainsi que la consignation des réponses de l'observateur.

Un essai consistait en une présentation du F-16 d'une durée de 2 secondes dans une scène visuelle fixe. L'arrière-plan constitué du ciel bleu était présent pendant toute la durée de chaque bloc d'essais. Les distances simulées variaient selon les blocs d'essais. Pour chaque bloc d'essais de distance, il y avait une gamme de 13 amplitudes de variation différentes. À la suite de chaque présentation de l'appareil, un texte s'affichait à l'écran pour demander aux observateurs s'ils avaient décelé de la gigue (Did you detect jitter?) et pour leur donner le choix de répondre par oui ou non (Yes or No).

**Résultats :** On a analysé les résultats en superposant une courbe de Weibull aux données de réponse moyennes obtenues auprès de chaque observateur pour chaque combinaison de lissage et de distance, afin d'obtenir un seuil au niveau de performance de 63 %. On a ensuite converti ces données en angle visuel, exprimé en minutes d'arc, afin d'évaluer si les observateurs avaient besoin de renseignements visuels différents pour chaque combinaison de conditions. On a ensuite soumis les données brutes relatives aux distances et aux angles visuels à une analyse de variance (ANOVA) des mesures répétées visant à évaluer la présence de tout effet ou de toute interaction entre la distance et le lissage de position. Pour terminer, on a procédé à des tests T afin de déterminer s'il y avait une différence de seuil de détection entre les conditions qui prévalaient lorsqu'il n'y avait pas de lissage de position et lorsqu'il y avait lissage de position, en ce qui a trait aux données brutes relatives aux distances et aux angles visuels.

La figure 1 illustre les seuils de détection, en mètres, pour les deux conditions de lissage en fonction des trois conditions relatives à la distance. D'après cette figure, pour les deux conditions de lissage, le seuil de détection augmente généralement en fonction de la distance. Cette figure indique également que l'ajout de lissage augmente aussi les seuils de détection. Une ANOVA a permis d'établir que l'effet d'une distance simulée était statistiquement important  $F(2, 8) = 6,97$ ,  $p < 0,05$ . Une comparaison ultérieure par paire a démontré que les distances simulées suivantes présentaient des différences importantes ( $p < 0,05$ ) : 100 m par rapport à 200 m et 100 m par rapport à 400 m.

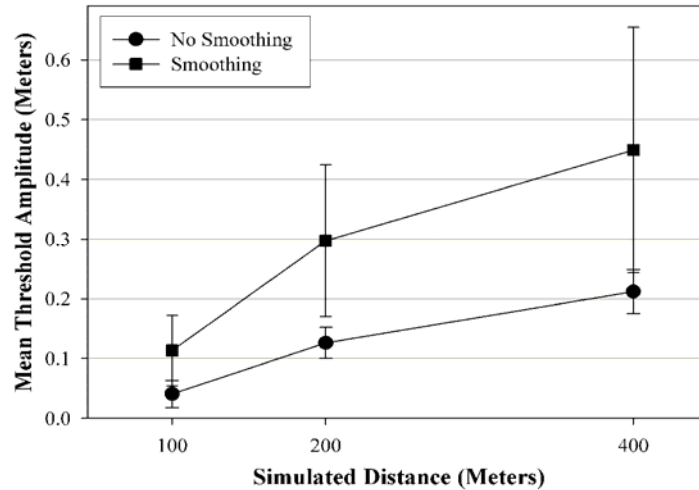


Figure 20. Amplitudes moyennes de seuil, en mètres, pour trois distances simulées et deux conditions de lissage. Le cercle représente la condition où il n'y a pas de lissage et le carré, la condition où il y a un lissage d'une seconde. Les barres d'erreur représentent l'erreur type réelle calculée.

Nous n'avons découvert aucun effet global important du lissage ni aucune interaction avec la distance du cercle oculaire. La figure 2 illustre la proportion de bonnes réponses sur quinze essais pour les deux conditions de lissage pour lesquelles on a calculé la moyenne en fonction de tous les sujets et de toutes les distances simulées. Comme il existe une différence visuelle dans le seuil de détection global entre ces deux conditions de lissage, nous voulions également vérifier l'hypothèse de différence nulle selon laquelle il n'y aurait aucune différence entre les seuils mesurés dans la condition où il n'y a pas de lissage et ceux mesurés dans la condition où il y a un lissage d'une seconde, en utilisant un contraste a priori. En procédant à un test T bilatéral, nous avons découvert une différence importante entre les seuils mesurés dans la condition où il n'y a pas de lissage et ceux mesurés dans la condition où il y a un lissage,  $t(13) = -2,26$ ,  $p < 0,04$ .

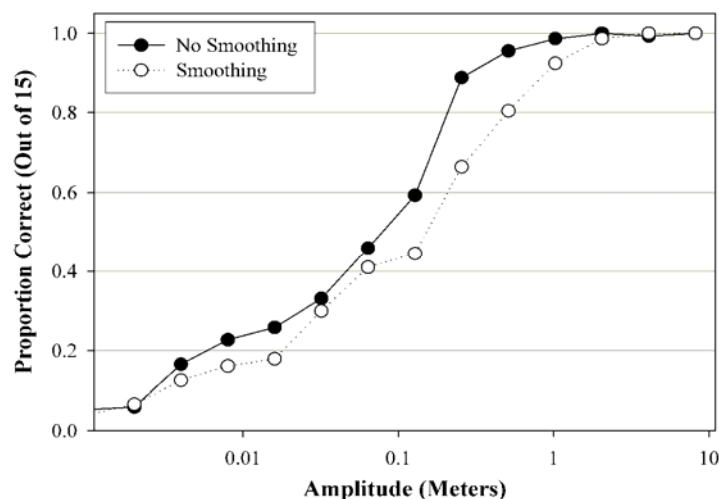


Figure 21. Proportion de bonnes réponses sur quinze essais pour les deux conditions de lissage pour lesquelles on a calculé la moyenne en fonction de tous les sujets et de toutes les distances simulées (chaque point représente 225 points de données). Le cercle noir représente la condition où il n'y a pas de lissage et le cercle blanc, la condition où il y a un lissage d'une seconde.

Pour évaluer l'effet qu'ont la distance et le lissage de position sur l'angle visuel du seuil de détection, nous avons effectué une ANOVA des mesures répétées. La distance et le lissage n'avaient aucun effet important ni aucune interaction importante sur l'angle visuel. La figure 3 illustre les seuils de détection, en minutes d'arc, pour les deux conditions de lissage en fonction des trois conditions relatives à la distance. Cette figure indique qu'une augmentation de l'angle visuel de l'amplitude de variation n'était pas nécessaire à la détection, puisque la distance simulée a augmenté. Elle indique cependant que l'ajout du lissage a effectivement provoqué une augmentation de l'angle visuel du seuil de détection. En procédant à un test T bilatéral, nous avons découvert une différence importante entre l'angle visuel du seuil de détection mesuré dans la condition où il n'y avait pas de lissage et celui mesuré dans la condition où il y avait un lissage,  $t(13) = 2,16, p < 0,01$ .

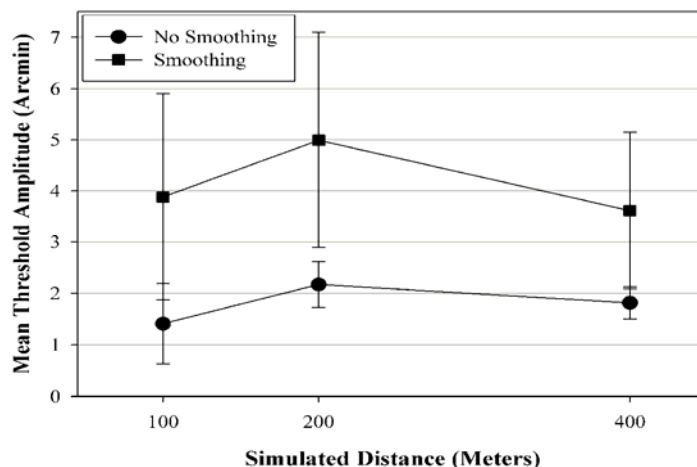


Figure 22. Amplitudes moyennes de seuil, en minutes d'arc, pour trois distances simulées et deux conditions de lissage. Le cercle représente la condition où il n'y a pas de lissage et le carré, la condition où il y a un lissage d'une seconde. Les barres d'erreur représentent l'erreur type réelle calculée.

**Discussion :** Les résultats de cette expérience indiquent qu'une augmentation de la distance simulée provoque une augmentation de la variation, en espace de simulation, nécessaire à la détection du mouvement de l'aéronef cible. Cependant, lorsque la variation était exprimée en unités d'angle visuel, l'effet de la distance simulée n'était pas important, ce qui indique que les seuils étaient déterminés par la variation angulaire. De plus, dans les conditions utilisées dans le cadre de cette étude, le lissage double presque les seuils de variation angulaire.

Dans toutes les conditions, les seuils de variation étaient petits – environ 2 minutes d'arc pour la condition sans lissage et 4 minutes d'arc pour la condition avec lissage, ce qui se traduit par des seuils de variation de  $\frac{1}{2}$  et 1 pixel pour les conditions sans lissage et avec lissage, respectivement. En fait, dans le cadre d'études effectuées dans des conditions optimales, on signale des seuils de variation de 2 secondes d'arc [21].

Il n'est pas étonnant de constater que le lissage, qui réduit la vitesse de la cible, a provoqué une augmentation du seuil de variation. Dans un environnement maillé en réseau, on utilise le lissage pour réduire la prégnance visuelle de la variation et fournir à un observateur une trajectoire de vol qui a l'air plus réaliste. Cependant, la trajectoire de vol avec lissage fournira une représentation moins précise de la trajectoire de vol réelle (Lin et autres, 1995). La sensibilité élevée du système visuel en matière de détection de la variation que démontre cette étude et d'autres études laisse croire que l'erreur de position de la trajectoire de vol avec lissage peut être codée par le système visuel et pourrait donc provoquer une détérioration des performances. De plus, comme la trajectoire de vol avec lissage a l'air réaliste, elle peut altérer les performances d'un pilote, tandis que le passage brusque non réaliste à un lissage désactivé peut facilement être ignoré par le pilote. Les bénéfices et les avantages du lissage laissent donc toujours place à la discussion.

Comme cela a été mentionné antérieurement, cette expérience est la première d'une série d'expériences conçues pour déterminer l'effet des conditions du réseau sur les tâches de pilotage dans un environnement d'entraînement sur simulateur maillé en réseau. Au Air Force Research Laboratory de Mesa (Arizona), nous procédons à l'évaluation approfondie des différences de position physiques réelles qui surviennent en fonction de la charge globale du réseau. Cette évaluation nous permettra de comparer nos résultats obtenus lors de la présente expérience aux différences de position réelles provoquées par la charge du réseau. Nous procédons également à une autre évaluation consistant à évaluer les différents types de différences de position provoquées par la charge que constituent les paquets du réseau sur un réseau longue distance (p. ex., de Mesa (Arizona) à Melbourne (Australie)).

## **Remerciements**

Ces travaux ont bénéficié de l'appui du contrat n° FA8650-05-D-6502 de la U.S. Air Force. Nous tenons à remercier Bill Morgan (The Boeing Co.) pour le développement du logiciel de simulation et de collecte de données, ainsi que Craig Eidman (AFRL/HEAE) pour ses connaissances spécialisées en qualité d'expert en la matière.

## 9 Facteurs humain

---

### 9.1 Évaluation de la définition spatiale et temporelle des projecteurs numériques utilisés en simulation de vol plein champ

James P. Gaska<sup>†\*</sup>, George A. Geri\*, Marc D. Winterbottom\*\* et Byron J. Pierce\*\*

*\*Link Simulation and Training, Mesa, Arizona, USA*

*\*\*Air Force Research Laboratory, Mesa, Arizona, USA*

*<sup>†</sup>Papier présenté (photographie ci-dessous)*



**Introduction :** Les projecteurs numériques basés sur les technologies des cristaux liquides ou des micromiroirs offrent une définition spatiale supérieure à celle qu'offrent les tubes cathodiques habituellement utilisés dans les applications des simulateurs de vol. Cependant, leur réponse temporelle est limitée par de longues durées de maintien. La durée de maintien est l'intervalle pendant lequel les pixels persistent sur chaque image, et elle est liée tant à la conception du circuit pilote qu'à celle de l'écran lui-même. Des durées de maintien longues se traduisent par un flou des images mobiles pouvant altérer la détection et l'identification des cibles simulées ainsi que le réalisme des scènes simulées.

On présente ici les résultats d'une évaluation de plusieurs projecteurs numériques mettant en oeuvre diverses techniques permettant de réduire la durée de maintien des pixels. Cette évaluation comportait des estimations des définitions spatiale et temporelle, ainsi que des tests de perception utilisés pour évaluer la validité de ces estimations. On peut utiliser les techniques décrites ici pour évaluer l'utilité potentielle des projecteurs envisagés pour une application donnée de simulateur.

**Méthodes :** On a testé les projecteurs suivants : des écrans à cristaux liquides ferroélectriques sur silicium (FLCoS), des écrans à cristaux liquides sur silicium (LCoS), des écrans à cristaux liquides (LCD), un projecteur numérique (DLP) (dispositif numérique à micromiroirs) et un projecteur à tube cathodique. On a fait varier la durée de maintien des FLCoS et des projecteurs à LCD au moyen d'obturateurs mécaniques, et celle du projecteur DLP, au moyen d'un obturateur

électronique. Comme on a utilisé les projecteurs à tube cathodique et à LCD principalement pour effectuer des comparaisons, on n'en a pas fait varier les durées de maintien.

On a d'abord déterminé la luminosité, le contraste et la fonction factorielle de chaque écran en préparation des mesures de la définition spatiale, de la réponse temporelle et des deux définitions temporelles. On a ajusté la luminosité et le contraste du tube cathodique de manière à obtenir l'image la plus lumineuse correspondant à une saturation nulle de la fonction factorielle de l'écran (c. à d., la fonction reliant la luminance au niveau de gris à l'entrée). On a ensuite mesuré la luminance et le contraste totaux au moyen des quatre carreaux centraux d'un motif de test en échiquier de 4 carreaux sur 4 qui recouvrait l'image en entier. On a également utilisé le niveau optimal de luminance déterminé pour le tube cathodique pour les autres écrans.

On a mesuré la définition spatiale au moyen d'une procédure normalisée qui nécessitait l'affichage de motifs sous forme de grilles constituées de lignes horizontales ou verticales espacées de l'une des trois façons suivantes : (1 allumée/1 éteinte, 2 allumées/2 éteintes et 3 allumées/3 éteintes). On a ensuite mesuré la distribution de la luminance des motifs de manière orthogonale par rapport aux lignes et on a calculé le contraste des motifs. On a ensuite tracé une courbe du contraste en fonction de la fréquence des motifs sous forme de grilles, et on a utilisé l'interpolation pour déterminer le nombre efficace de lignes correspondant à un contraste de 25 %, lequel nombre, une fois converti en distance à l'écran, correspond à une mesure de la définition spatiale. On a ensuite obtenu le nombre de lignes résolues en divisant le nombre de pixels du projecteur par le nombre efficace de lignes.

On a mesuré la réponse temporelle des écrans au moyen d'une photodiode, afin de mesurer la distribution lumineuse temporelle associée à un petit carré de test clignotant à 30 Hz. On a procédé à des évaluations perceptuelles de la définition temporelle des écrans au moyen de deux techniques. La première consistait en un test de flou de lignes mobiles au cours duquel une paire de lignes blanches verticales, chacune de la largeur d'un pixel, était déplacée horizontalement sur un fond sombre à différentes vitesses. Les observateurs réglaient la largeur de l'espacement entre les lignes d'essai de manière à réduire au minimum cet espacement. Cet essai était fondé sur le fait qu'une définition temporelle supérieure se traduira par moins de flou des lignes d'essai verticales dans le sens du déplacement, ce qui permettra en retour aux observateurs de voir un espacement de plus en plus petit entre les lignes verticales. Ainsi, la largeur réglée de l'espacement peut constituer une mesure du flou de l'image. La deuxième consistait en une tâche de détection des mouvements de roulis de l'aéronef. Le concept de cette tâche est semblable à celui du test des lignes mobiles, mais il fournit une estimation du flou dû au mouvement pour une tâche de simulateur de vol plus réaliste. Dans le cadre de cette tâche, des modèles réduits d'avions à réaction se déplaçaient latéralement sur un fond d'écran et, au milieu de ce dernier, ils effectuaient soit un roulis de 0 degré (pendant la moitié des essais), soit un roulis compris entre 4 et 23 degrés (pendant l'autre moitié des essais). On a obtenu les seuils de détection des mouvements de roulis en trouvant le degré de roulis correspondant à des détections de roulis exactes à 82 %.

**Résultats :** Le nombre de lignes résolues pour les projecteurs testés variait d'environ 1 200, dans le cas d'un projecteur à tube cathodique, à environ 4 000, dans le cas de projecteurs DLP et LCoS. Les durées de maintien des projecteurs variaient de moins d'une milliseconde, dans le cas

du projecteur à tube cathodique, à environ 16,7 millisecondes (p. ex., image vidéo complète), dans le cas du projecteur à LCD.

Dans le cas du projecteur à tube cathodique, le flou perçu mesuré dans le cadre du test des lignes mobiles est passé d'environ 5 à 12 minutes d'arc, alors que la vitesse de la cible est passée d'environ 5 à 68 degrés/seconde. Dans le cas des projecteurs à LCD, à LCoS et à DLP testés dont les durées de maintien sont supérieures à 10 millisecondes, le flou perçu est passé de 5 à 10 minutes d'arc, dans le cas de vitesses de cibles inférieures à 10 degrés/seconde, à 40 à 60 minutes d'arc, dans le cas de vitesses de cibles supérieures à environ 50 degrés/seconde. Dans le cas des projecteurs à LCoS et à DLP, au fur et à mesure que la durée de maintien diminuait, le flou perçu diminuait également, mais cette diminution était généralement proportionnelle à la vitesse de la cible. Dans le cas des projecteurs à LCoS et à DLP, le flou perçu n'était pas très différent de celui d'un projecteur à tube cathodique lorsque l'on a réduit la durée de maintien jusqu'à environ quatre à six millisecondes. Les seuils de détection des mouvements de roulis étaient d'environ 10, 14 et 16 degrés dans le cas de vitesses aéronaves cibles de 8, 17,5 et 35 degrés/seconde, respectivement. Ces données dénotent une corrélation évidente entre les données de détection des mouvements de roulis et les mesures de la réponse temporelle ainsi que les données du test des lignes mobiles.

**Implications :** L'Air Force et la Navy des États-Unis envisagent ou sont en train de remplacer les écrans à tube cathodique par des écrans numériques dans les simulateurs de vol. Toutefois, une faible définition temporelle et le flou d'images mobiles connexe constituent un problème important dans l'utilisation de ces écrans numériques. Les techniques d'évaluation des affichages mises au point à l'AFRL, à Mesa, offrent un moyen relativement simple de mesurer objectivement les définitions spatiale et temporelle et, de plus, de prédire leurs conséquences sur la perception. Les résultats de ces évaluations indiquent que pour tous les types de projecteurs testés, une réduction de la durée de maintien jusqu'à environ quatre à six millisecondes réduit de façon efficace le flou d'une image mobile jusqu'à celui d'un projecteur à tube cathodique, lequel flou correspond actuellement à la norme acceptée en matière de réponse temporelle de projecteur. Pour terminer, il a été établi que les résultats des mesures de définition temporelle correspondaient au rendement dans le cadre d'une tâche air air représentative de celles exécutées sur des simulateurs de vol complets. Pour évaluer les projecteurs dans les réglages appliqués, il faudra élaborer et mettre en oeuvre des tâches analogues pour les simulateurs de vol visés.

## 9.2 Paradigme de cognition spatiale pour l'évaluation de l'influence du port de lunettes de vision nocturne sur la performance en matière de repérage

Michelle Gauthier\* et Avi Parush<sup>†</sup>\*\*

*\*CAE Professional Services, Ottawa*

*\*\*Carleton University, Human Oriented Technology Laboratory, Ottawa*

*<sup>†</sup>Papier présenté (photographie ci-dessous)*



Les LVN (lunettes de vision nocturne) améliorent la perception visuelle dans des conditions de faible lumière ou d'obscurité; toutefois, à cause de leurs caractéristiques optiques et électrooptiques, la perception visuelle diffère de celle obtenue dans des conditions de lumière normale. Par conséquent, la plupart des études publiées sur l'influence du port de LVN sur la performance humaine ont été fondées sur des recherches dans les domaines de la psychophysique et de la perception (Macuda, et autres, 2004; Niall et autres, 1999). Toutefois, des signalements anecdotiques indiquent que le port de LVN influent sur l'orientation spatiale et le repérage en exerçant un effet sur les fonctions cognitives. Quelques études ont systématiquement caractérisé les conséquences du port de LVN sur la cognition en général et, plus particulièrement sur le plan du comportement spatial.

Le but du présent article est d'exposer une méthode empirique pour l'étude de l'influence du port de lunettes de vision nocturnes (LVN) sur le repérage et la performance en matière d'orientation, qui introduit un paradigme de la recherche en cognition spatiale. Ce paradigme est fondé sur deux étapes principales : 1) l'apprentissage et l'exécution d'exercices et 2) l'évaluation des connaissances spatiales acquises. À la première étape, les participants ont découvert un environnement par la navigation et le repérage actifs, en recherchant des cibles à l'intérieur d'un labyrinthe grandeur nature avec et sans LVN. À la seconde étape, la connaissance de l'environnement a été évaluée au moyen de deux tests de mémoire spatiale (une tâche d'appréciation de la direction relative et une tâche de dessin de carte). Il est proposé d'utiliser ce type de méthode pour étudier les aspects perceptuels et cognitifs inhérents à l'utilisation de dispositifs d'amélioration de la vision portés sur la tête, en particulier dans des tâches de

recherche et de repérage. En outre, cette méthode peut être utilisée pour l'essai comparatif et l'essai d'acceptation des nouvelles technologies d'amélioration de la vision.

Enfin, la méthode employée dans cette étude peut servir à l'élaboration et à l'évaluation de lignes directrices et de stratégies en matière de formation, plus en accord avec les processus de cognition spatiale humaine. Certaines répercussions d'ordre pratique, intéressant la formation sur l'utilisation des LVN et la recherche éventuelle sur le terrain, sont examinées, et ce, afin d'explorer les améliorations possibles sur le plan de la conception et de l'utilisation de ces dispositifs.

Les résultats de cette étude ont indiqué que la navigation et le repérage semblaient être plus difficiles avec des LVN, les temps de navigation étant plus longs et les virages inutiles plus nombreux comparativement à l'exécution de ces mêmes tâches sans LVN. De plus, au cours d'essais de repérage menés avec le groupe expérimental, on a observé une diminution considérable et rapide des temps de navigation et une réduction des étapes de navigation par rapport au groupe témoin. Dans une tâche d'appréciation de l'orientation relative, le positionnement relatif à des objets recherchés et à des distracteurs se trouvant dans une même pièce était plus juste avec le groupe qui n'utilisait pas de LVG. Dans une tâche de dessin de carte, les membres du groupe portant des LVN avaient plus tendance à positionner incorrectement des objets et ont obtenu les pires résultats.

Ces résultats démontrent clairement que les LVN influent sur la performance en navigation spatiale et en repérage ainsi que sur l'acquisition de connaissances spatiales. En caractérisant objectivement l'influence des LVN sur le repérage et l'orientation spatiale, les résultats actuels fournissent une preuve empirique qui vient s'ajouter aux signalements anecdotiques. De plus, ces résultats peuvent constituer une démonstration empirique de l'efficacité de ce paradigme.

### 9.3 Psychophysique de l'observation de halos dans les LVN

Robert S. Allison<sup>†\*</sup>, Tracey Brandwood\*, Margarita Vinnikov\*, James E. Zacher\*, Sion Jennings\*\*, Todd Macuda\*\*, Paul Thomas\*\*\*, et Stephen A. Palmisano\*\*\*\*

*\*Centre for Vision Research, York University, Toronto*

*\*\*Institute for Aerospace Research, National Research Council of Canada, Ottawa*

*\*\*\*Topaz Technologies, Toronto*

*\*\*\*\*School of Psychology, University of Wollongong, Wollongong, Australia*

*<sup>†</sup>Papier présenté (photographie ci-dessous)*



**Aperçu et but :** Effectuer des mesures quantitatives des halos autour des sources lumineuses perçus par les dispositifs de vision de nuit (DVN) selon l'intensité et la distance, décrire une méthode visant à simuler leurs effets en laboratoire et présenter les résultats des expériences psychophysiques ayant pour but d'analyser les erreurs induites par les halos dans l'estimation de la pente.

**Contexte :** Simuler avec précision la physique des intensificateurs d'images et modéliser les scènes observées à l'aide des DVN est difficile et exige beaucoup de calculs, or il faut réaliser ces activités en temps réel avec une fréquence d'images et une résolution élevées dans des simulateurs militaires de pointe. Étant donné les limites inhérentes à la simulation en temps réel, il est important de comprendre les incidences des artefacts des DVN sur l'exécution des tâches afin de prendre des décisions rationnelles techniques sur le niveau de fidélité requis. La présence d'un halo ayant la forme d'un disque autour des sources lumineuses est un artefact propre aux DVN.

**Mesures du halo :** Une source lumineuse et un banc optique ont été conçus sur mesure pour créer des stimuli d'intensité variable observables par le DVN à des distances diverses. Pour chaque cas, trois mesures ont été effectuées. Deux des mesures étaient subjectives et visaient à mesurer la grandeur angulaire apparente du halo, et la troisième était une mesure objective effectuée à l'aide d'une caméra numérique. Toutes les mesures ont été l'objet d'un interétalonnage les unes avec les autres ainsi qu'avec des cibles étalons, à des distances connues, afin d'obtenir des données équivalentes de l'angle visuel au DVN.

Lorsqu'une source lumineuse est suffisamment intense pour produire un halo, alors la grandeur (mais pas l'intensité ni la transparence) de ce halo sera constante pour une distance et une intensité données – à tout le moins jusqu'à ce que des halos secondaires soient observables. Tout changement dans la taille apparente est faible comparativement aux effets plus importants de la disparition du halo ou de l'apparition d'un halo double à mesure que l'intensité de la source diminue ou augmente, respectivement.

**Halos considérés comme stimuli visuels :** Le fait que la grandeur angulaire des halos primaires ne change pas en fonction de la distance séparant le DVN de la source lumineuse entraîne cependant des problèmes relatifs à la perception. Le halo devrait se rapetisser à mesure que l'on s'approche de la source lumineuse, et un halo brillant et distinct devrait sembler plus proche qu'un halo plus intense, même si ce dernier est plus loin. Nous avons vérifié ces hypothèses au laboratoire. Nous examinerons la manière dont les halos peuvent agir comme *stimuli* visuels et influencer la perception des objets et des scènes visuelles plus complexes.

**Milieu simulé :** À l'aide de modèles physiques du fonctionnement du DVN, une simulation graphique par ordinateur en trois dimensions du terrain modélisé a été réalisée sur une grappe d'ordinateurs personnels. Les scènes ont été modélisées à l'aide du logiciel *3D Studio Max* à partir de cartes numériques du terrain. Nous utilisons un environnement virtuel API (VE 2.2) mis au point à l'interne pour contrôler et configurer la simulation, l'affichage et les dispositifs d'entrée. La simulation est principalement visuelle et la dynamique des aéronefs n'est pas modélisée. On a eu abondamment recours à des techniques d'ombrage de pointe pour modéliser les effets des halos observés par le DVN en temps réel. Les expériences ont été réalisées dans un milieu d'immersion virtuel stéréoscopique de grand format.

**Expériences psychophysiques simulant l'approche d'un hélicoptère :** Dans l'une des séries d'expériences, les participants ont évalué leur orientation par rapport au sol. Durant la simulation, les participants ont reçu l'instruction d'estimer la pente du sol par rapport à la caméra virtuelle. Suite au stimulus, une scène à repères complets dans des conditions diurnes a été affichée avec un angle d'inclinaison aléatoire. Les participants pouvaient choisir l'angle d'attaque de la caméra virtuelle et on leur a demandé de faire correspondre l'orientation de la caméra virtuelle avec leur estimation. Le réglage de la correspondance était enregistré et l'essai suivant commençait.

Dans une autre série d'expériences, les participants surveillaient l'approche simulée d'un aéronef vers une piste d'atterrissage et estimaient le point d'arrivée au sol en se basant sur leur cap. Après qu'ils aient visualisé la séquence d'approche, on arrêtait l'approche simulée et les participants on demandait aux participants de déplacer un marqueur visuel pour établir un alignement avec le point d'arrivée au sol estimé.

Lorsque les repères indiquaient de façon évidente que la scène observée était inclinée, les participants ont perçu une pente proche de celle que l'on trouvait en l'absence de halo, tel que prévu. L'agencement régulier des lumières a permis d'obtenir différentes perspectives de profondeur, y compris la perspective linéaire, les gradients de texture, la compression (et l'effet de rapprochement) et la possibilité d'inférer un horizon implicite. Lorsque des halos sont présents dans une scène et qu'ils sont associés à une surface inclinée, leur grandeur varie, dans une certaine mesure, avec la distance apparente (constance de la grandeur). Il n'y a que peu de conflit dans ce cas particulier, étant donné que les repères de pente dominant et que l'invariance du halo est perçue comme un gradient de taille.

Nous examinerons les résultats de la simulation NVG et la capacité de l'utilisateur à compenser les distorsions liées à la perception.

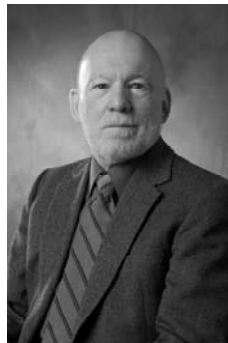
## 9.4 Effets de la variation de résolution d'écran et de vitesse d'entraînement sur une tâche de pilotage simulée<sup>4</sup>

D. C. Donderi<sup>†\*</sup>, Keith Niall<sup>\*\*</sup>, Karyn Fish<sup>\*</sup> et Benjamin Goldstein<sup>\*</sup>

*\*Human Factors North Inc*

*\*\* Recherche et développement pour la défense Canada-Toronto*

*†Papier présenté (photographie ci-dessous)*



**Résumé :** Deux expériences ont servi à vérifier 104 observateurs dans le cadre d'une tâche de pilotage simulée. On a formé 104 observateurs dans le cadre d'une tâche de pilotage simulée au moyen d'un PC, afin de mesurer l'effet produit sur les performances après l'entraînement par deux variables de simulation de vol : la résolution d'écran et la vitesse d'entraînement simulée. Une manette des gaz et un manche à balai servaient à commander la vitesse, le rayon et l'angle d'inclinaison d'un F-18 de poursuite décrivant des cercles. La tâche de pilotage consistait à rattraper et à intercepter un F-18 cible décrivant des cercles de rayon et d'inclinaison différents. Cette simulation incluait un poste de pilotage réaliste du F-18 de poursuite, un F-18 cible réaliste, un relief structuré, un horizon, des nuages et le soleil. Les variables d'intérêt étaient la résolution d'écran (768 x 1 024, 960 x 1 280, 1 200 x 1 600 [référence]) ainsi que les vitesses d'entraînement simulées de 450, 900 (référence) ou 1 350 noeuds. On a procédé à l'expérience un au cours d'une seule séance, à la résolution de référence, avec 50 observateurs. L'expérience un comportait un pré-test à la vitesse de référence et une séance d'entraînement qui comportait soit 18 essais d'entraînement à 900 noeuds ou à 1 350 noeuds, neuf essais d'entraînement à 450 et à 900 noeuds ou six essais d'entraînement à 450, 900 et 1 350 noeuds destinés à différents groupes d'observateurs. L'entraînement à une vitesse constante supérieure (1 350 noeuds) à la vitesse de référence a donné lieu aux erreurs d'entraînement les plus importantes et aux meilleures performances (vitesses de référence) après entraînement. Dans le cadre de l'expérience deux, laquelle portait sur 54 observateurs, on a utilisé la même tâche. On a fait varier les trois résolutions d'écran d'un observateur à l'autre, tout en faisant varier les vitesses d'entraînement au sein des observateurs

<sup>4</sup> Ces travaux ont été accomplis en vertu d'un contrat passé entre Human Factors North Inc et Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC). Nous tenons à remercier Josie Caro d'avoir effectué des études pilotes indispensables qui ont facilité les travaux mentionnés ici. Le logiciel nécessaire à cette simulation a été développé par la firme Array Systems Computing Inc. en vertu d'un contrat passé avec RDDC.

dans le cadre de trois séances qui se sont échelonnées sur trois jours. Le premier jour, on a procédé à la familiarisation et au pré-test de référence. Une seule séance d'entraînement et un seul post-test de référence ont été effectués au cours de chacun des jours deux et trois. On a utilisé toutes les permutations des paires de vitesses à 450, 900 et 1 350 noeuds pendant les séances de formation au cours des jours deux et trois. Après la première séance d'entraînement, l'entraînement à 1 350 noeuds à résolution élevée (référence) et moyenne a donné lieu aux meilleures performances après entraînement. Après les deux séances d'entraînement, on a obtenu les meilleures performances dans le cadre de post-tests à la suite de l'entraînement à résolution élevée à la vitesse d'entraînement rapide (1 350 noeuds), dans le cadre des deux séances d'entraînement. À faible résolution, les performances étaient bien pires que dans le cadre d'un entraînement à résolution élevée (référence) ou moyenne. Ces résultats remettent l'accent sur l'importance de la résolution d'écran dans le cadre de l'entraînement sur simulateur, et ils soutiennent des constatations antérieures selon lesquelles un entraînement à une vitesse supérieure à la vitesse réelle améliore les performances dans le cadre d'une tâche de pilotage simulée effectuée à une vitesse réelle (référence) de post-tests.

## 10 Photogrammétrie

---

### 10.1 Indexation d'images vidéo d'après des images de référence

Vitaly Zholudev<sup>†\*</sup> et Richard Wildes<sup>\*\*</sup>

*\*Department of Computer Science and Engineering, York University, Toronto*

*\*\*Centre for Vision Research, York University, Toronto*

*<sup>†</sup>Papier présenté (photographie ci-dessous)*



**Introduction :** Les travaux portent sur le repérage de données dans des bases de données géospatiales, particulièrement sur la superposition d'images acquises par différents capteurs présentant différents points de vue d'une même scène. La recherche offre de nombreuses applications pour la création et l'actualisation des cartes, ainsi que pour les levés et autres sources de données géospatiales. Bien que d'importants travaux aient été effectués dans le domaine de la superposition d'images [23], les méthodes actuelles sont inopérantes lorsque les différences entre des points de vue ou des capteurs sont plus que mineures. En outre, la technologie existante de superposition d'images ne permet l'alignement d'images vidéo et d'images de référence qu'avec un préalignement à quelques centaines de pixels près de la correspondance exacte [27]. Il est significatif qu'en raison d'erreurs, d'omissions et de la disponibilité limitée de mesures de télémétrie, une connaissance *a priori* inadéquate de l'alignement d'images vidéo et d'images de référence constitue un problème concret.

La méthode mise au point permet l'indexation directe de descripteurs d'images vidéo dans une base de données d'images de référence. La réussite de l'indexation entraîne que la position approximative de l'image vidéo par rapport à l'image de référence a été récupérée; cette information peut ensuite servir à préaligner les images vidéo aux images de référence pour les superposer avec les outils technologiques. La méthode offre une représentation uniforme des images vidéo et des images de référence ainsi qu'une méthode permettant de quantifier le degré de correspondance entre les deux échantillons d'images. La représentation combine l'apparence des images, caractérisée par des régions définies selon leur texture, et la géométrie des images, caractérisée par les relations spatiales entre les régions texturées. De par sa conception, la

méthode de mise en correspondance est robuste pour toute une gamme de distorsions photométriques et déformations géométriques entre les images, notamment les variations de contraste des tons de gris et les transformations géométriques affines. La méthode élaborée est définie par des algorithmes sur lesquels est basé un logiciel. Des évaluations empiriques, utilisant une base de données d'images de référence formée d'orthoimages d'emplacements géographiques distincts, indexées par des images vidéo aériennes synthétiques, ont permis de documenter le potentiel de la méthode.

**Approche technique :** L'approche en matière d'indexation d'images vidéo d'après des images de référence fait intervenir une intégration innovatrice de descripteurs régionaux d'apparence aux relations géométriques entre les régions. Les recherches antérieures sur l'indexation des images tendaient à se concentrer uniquement sur l'apparence ou sur la géométrie [26]. L'approche proposée repose sur le principe que la combinaison de ces deux sources d'information produit une méthode plus discriminative que l'utilisation d'une seule de ces sources. L'apparence des images est caractérisée à l'aide de descripteurs de texture. La texture est utilisée puisqu'elle est évidente sur toute source d'imagerie (à la différence de la couleur qui dépend de la saisie de multiples bandes spectrales). Les relations géométriques sont définies par un invariant affin qui offre la robustesse nécessaire pour une gamme de variations prévues lorsqu'on fait coïncider les images visées : les images vidéo aériennes et les images de référence.

**Apparence :** Lorsqu'elle est observée dans le champ de toute image individuelle d'une séquence vidéo, l'apparence peut être ambiguë en raison de l'absence de contexte. Par exemple, un cliché présentant un couvert forestier uniforme sur toute sa surface serait difficile à distinguer d'un autre cliché du couvert forestier. Devant un tel problème, la solution proposée écarte l'observation isolée de clichés vidéo individuels, mais repose plutôt sur la création d'une mosaïque de collections de clichés d'une vidéo, pour former une image plus grande, qui servira ensuite de base pour l'indexation ultérieure d'après des images de référence. Dans le système actuel, un outil logiciel disponible dans le commerce, qui permet la création de mosaïques d'images, est utilisé pour exécuter le traitement nécessaire. [22].

Pour créer les descripteurs d'apparence liés à la texture, des méthodes normalisées de vision artificielle sont utilisées pour définir la structure des images sous forme statistique de l'énergie, à des échelles et des orientations multiples. Pour une région d'intérêt donnée notamment, les données d'images sont filtrées à l'aide d'une paire de filtres passe-bande en quadrature, réglés pour des échelles et des orientations multiples. Les images dérivées sont redressées point par point, puis combinées en quadrature. Finalement, chaque image est normalisée en divisant chaque point par la somme de toutes les valeurs des images redressées du même point. Cette procédure de normalisation assure l'invariance des contrastes locaux de l'image, puisque l'énergie locale dans chaque bande est exprimée en pourcentage de l'énergie totale dans toutes les bandes. Comme résultat, on obtient un ensemble d'images d'énergie normalisées qui analysent les données d'images initiales selon une échelle et une orientation, avec robustesse relativement aux particularités de la photométrie locale des images. Dans la forme actuelle du logiciel, quatre orientations et quatre échelles sont utilisées pour le filtrage.

Les images d'énergie obtenues saisissent l'apparence locale des images, fournissant notamment une caractérisation point par point. Étant donné que la texture d'une image est une caractéristique régionale, les mesures en chacun des points sont groupées de façon à réaliser une segmentation spatiale des images et constituer des régions de texture uniforme. Pour effectuer ce groupement

de données, on a modifié une méthode existante [24]. Cette méthode s'appuie sur des régions groupées, de sorte que la variation à l'intérieur d'un groupe est relativement faible par rapport à la variation entre les groupes. Alors que la méthode initiale utilisait simplement des images dans des tons de gris et les différences d'intensité pour calculer la variation, la méthode actuelle est fondée sur des images d'énergie dérivées et le produit scalaire pour le calcul de la variation. Ces modifications ont été apportées pour tenir compte des descripteurs d'apparence liés à la texture.

Étant donné la segmentation récupérée pour une région, l'information des images d'énergie est accumulée pour chaque région en calculant la réponse moyenne dans chaque bande. Un vecteur à seize dimensions (4 échelles x 4 orientations) qui reproduit l'apparence de la région est ainsi obtenu. La même représentation est utilisée pour caractériser l'apparence des images de régions dans une vidéo et des orthoimages de référence.

Telle que définie jusqu'ici, la représentation de l'apparence est sensible à la rotation : les textures orientées paraissent différentes selon les rotations dans le plan. La robustesse par rapport à la rotation entre les échantillons et les images de la base de données est importante : elle découle de l'angle de visée propre à chaque plateforme de capteurs. La solution à ce problème repose sur le caractère cyclique de la rotation; par exemple la rotation d'une image sur 360° ne produit aucun changement. L'exploitation de cette caractéristique permet d'obtenir une représentation robuste par rapport à la rotation en alignant deux représentations dans l'espace de rotation. Plus particulièrement, pour la comparaison de deux vecteurs de texture, une rotation est systématiquement effectuée sur l'un par rapport à l'autre, et pour chaque orientation relative le produit scalaire est calculé. La rotation fournissant le produit scalaire le plus élevé est utilisée comme transformation de l'alignement.

L'invariance par rapport à l'échelle soulève un autre problème important : les textures multi-échelles semblent différentes, à différentes résolutions spatiales. La démarche utilisée face à cette invariance est similaire à l'approche proposée pour l'invariance de rotation, hormis le fait que l'échelle n'est pas cyclique, puisqu'un changement d'échelle systématique ne permet jamais de retourner à l'échelle de départ. Pourtant, on peut fonder une approche sur la notion que des correspondances peuvent résulter d'une mise à l'échelle. Plus particulièrement, si deux vecteurs de texture doivent être comparés, l'un est systématiquement mis à l'échelle par rapport à l'autre, puis le produit scalaire est calculé. La mise à l'échelle fournissant le produit scalaire le plus élevé est utilisée comme transformation de l'alignement.

**Géométrie :** Afin de saisir les relations géométriques entre des zones de texture, un invariant affine est utilisé. De façon analytique, les transformations affines décrivent le mouvement d'un plan soumis à une projection orthographique. En pratique, les transformations affines d'une image ont été largement utilisées en vision artificielle pour compenser les changements de points de vue dans des cas où le relief d'un objet est faible par rapport à la distance d'observation, ce modèle étant particulièrement populaire pour l'analyse d'images aériennes.

Dans le cas actuel, il est possible de formaliser le problème comme un ensemble de quatre régions d'images et leur centroïde. Trois des centroïdes de régions servent à établir une base à deux dimensions; les coordonnées du quatrième centroïde sont projetées sur la base pour créer une invariance affine. Il faut remarquer qu'étant donné un ensemble de base défini d'après trois régions, il est possible de représenter un nombre arbitraire de régions additionnelles en fonction de l'ensemble de base établi. Dans le cadre des travaux actuels, l'utilisation d'une seule région

supplémentaire permet d'étudier la capacité de discrimination d'un petit ensemble de régions; ainsi, la géométrie relative des quatre zones est saisie par la paire de nombres  $a$  et  $b$ .

En travaillant avec un ensemble de quatre régions d'images, on dispose de douze façons de décrire un ensemble de base permettant d'établir les coordonnées de l'invariant affiné de la région restante (soit douze façons de choisir trois éléments distincts dans un ensemble de quatre). Pour faire suite à des travaux antérieurs [25], on assemble une base de données d'images de référence en assurant sa redondance, de telle façon que, pour chacun des modèles (c'est-à-dire une image de référence représentée par quatre zones de texture), on crée douze entrées dans la base de données, soit une entrée pour chaque choix de points de base. Par la suite, pour un échantillon d'image vidéo caractérisé par quatre zones de texture, trois zones peuvent être choisies indifféremment pour définir la base pour la paire  $(a, b)$  qui sera comparée à la base de données : tous les choix possibles sont représentés dans la base de données. En pratique, le jeu de coordonnées de trois centroïdes qui reproduit le mieux possible un cadre orthogonal sera choisi, puisqu'il sera relativement robuste par rapport aux erreurs de localisation des centroïdes.

**Combinaison de l'apparence et de la géométrie :** Afin de combiner la géométrie et l'apparence, la géométrie est utilisée comme préfiltre pour l'appariement basé sur l'apparence. On utilise notamment une quantification approximative des paramètres géométriques  $(a, b)$  pour définir un tableau de recherche à deux dimensions. Chaque case du tableau contient les vecteurs d'apparence (soit les vecteurs d'énergie orientés) des images de référence dont les paramètres géométriques dérivés sont couverts par l'étendue de la case. Pendant l'appariement, un échantillon sert à indexer une case d'après ses paramètres géométriques récupérés; par la suite, la meilleure correspondance est établie d'après le produit scalaire le plus élevé entre le vecteur d'apparence de l'échantillon et tous les vecteurs d'apparence contenus dans la case indexée.

**Résultats empiriques :** La présente section décrit une expérience permettant d'évaluer l'efficacité de la méthode proposée d'appariement d'échantillons vidéo à la base de données d'images de référence. Les entrées de la base de données et les échantillons individuels sont caractérisés par des quadruplets de régions d'images définies selon la texture. L'apparence de chacune des zones est saisie au moyen de leurs vecteurs d'énergie orientés à seize dimensions. La géométrie relative des zones est saisie à l'aide d'invariants affins à deux dimensions.

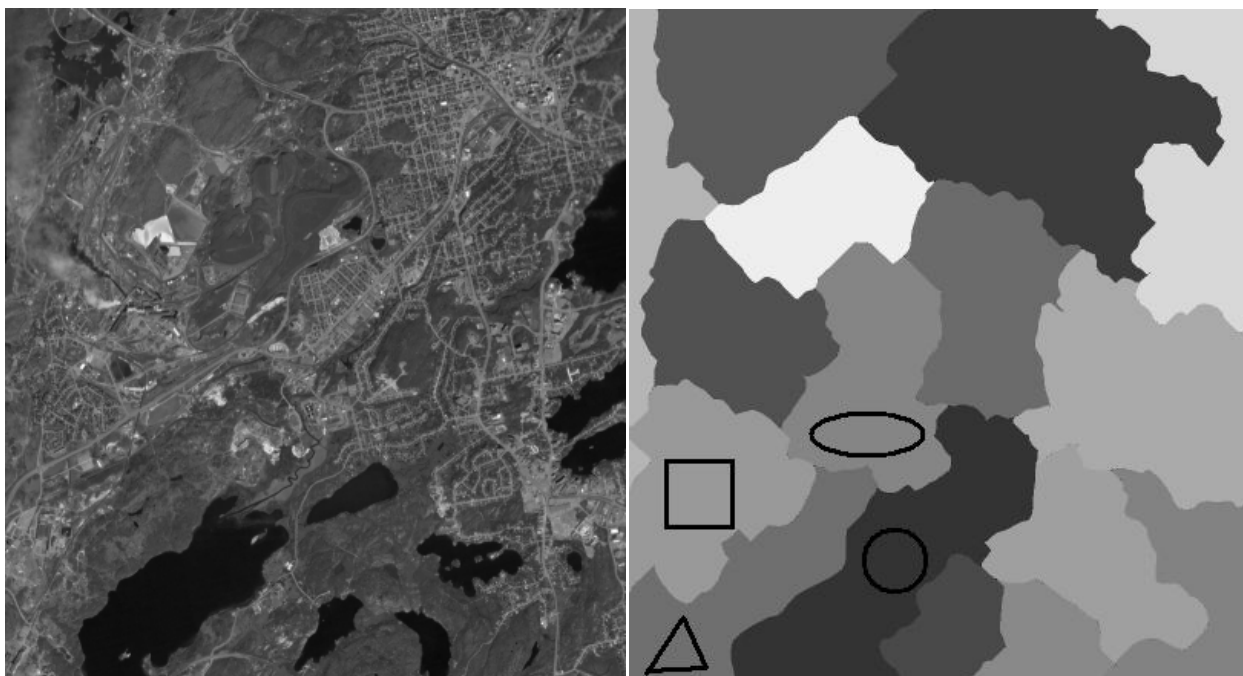
La base de données a été garnie à l'aide d'orthoimages correspondant à cinq lieux géographiques différents. Les orthoimages ont été saisies dans la partie visible du spectre à une résolution d'intensité de huit bits par pixel et à une résolution spatiale approximative de un mètre au sol par pixel. Les paramètres affins ont été quantifiés de manière uniforme dans des fichiers d'une taille de 0,5 avec un chevauchement de 1,0 entre les fichiers adjacents. Ces unités ont été retenues à la suite d'une inspection empirique afin de s'assurer que l'élagage des mises en correspondance fondées sur la géométrie couvrirait tout l'espace entre une désambiguïsation quasi complète et aucune désambiguïsation de la correspondance. Une fois constituée, la base de données comprenait 587 entrées distinctes (tirées de sous-régions des cinq orthoimages). À titre d'illustration, l'image de la figure 1 présente un exemple d'entrée dans la base de données.

Les échantillons ont été élaborés à partir de vidéos aériennes synthétiques des régions correspondant aux cinq orthoimages utilisées pour élaborer la base de données. Pour chacune des régions, les images en survol ont été générées suivant deux directions (par ex. des lignes de vol nord-sud ou est-ouest), trois résolutions spatiales (là où le support et la résolution de l'image le

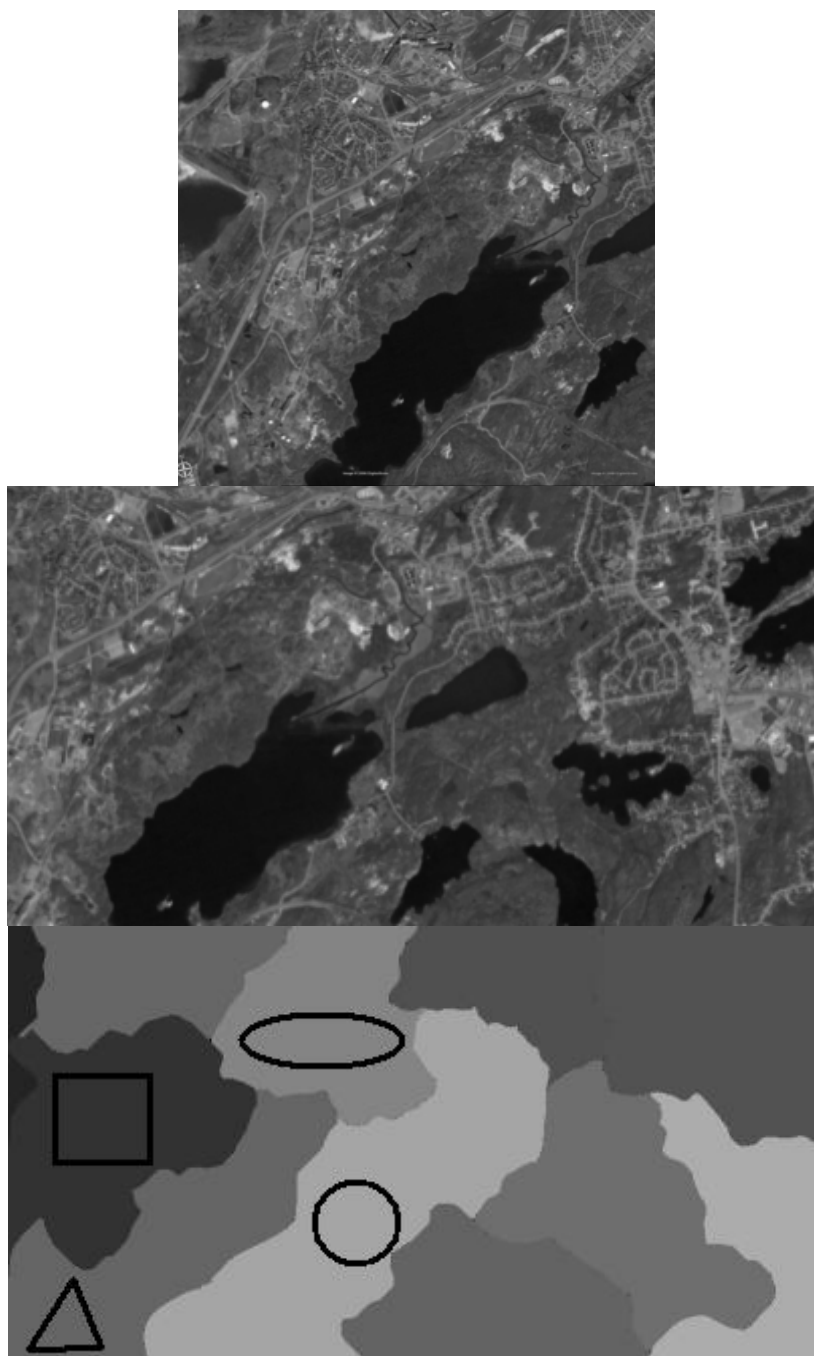
permettaient) et deux obliquités (nadir et 30 degrés hors nadir). En tout, on obtient un ensemble de 32 échantillons. À titre d'illustration, la figure 2 présente l'image d'un échantillon qui correspond à l'entrée de la base de données illustrée à la figure 1.

Dans l'ensemble, lorsque les 32 échantillons ont été indexés dans la base de données à l'aide de la méthode décrite, le meilleur résultat a été une correspondance exacte dans 75 % des cas. De plus, la correspondance exacte se situait parmi les deux meilleurs résultats dans 88 % des cas et parmi les trois meilleurs résultats dans 100 % des cas. En outre, on a également tenté d'effectuer une indexation uniquement fondée sur l'apparence (c.-à-d. en ignorant le préfiltre géométrique); on a observé que l'exactitude des correspondances était moindre dans ce cas, ce qui souligne l'importance de combiner l'apparence et la géométrie pour l'indexation des images.

**Résumé :** Le rapport présente une méthode permettant de mettre en correspondance des images vidéo aériennes et l'orthoimagerie de référence correspondante, que contiennent habituellement les bases de données géospatiales. La méthode combine l'apparence des images, caractérisée par des régions définies selon la texture, et la géométrie des images, caractérisée par les relations spatiales entre les régions texturées. De par leur conception, les méthodes de mise en correspondance sont robustes pour toute une gamme de déformations photométriques et géométriques d'une image à l'autre, notamment les variations de contraste des tons de gris et les transformations géométriques affines. Des évaluations empiriques donnent une indication du potentiel de la méthode. La méthode élaborée peut servir à la mise en œuvre d'une étape de prétraitement pour des méthodes existantes de superposition d'images vidéo d'après des images de référence. De façon particulière, elle peut servir à initialiser des algorithmes pour la superposition automatisée d'images en fournissant une position approximative des images vidéo par rapport aux images de référence. Il serait important d'orienter la recherche future en soumettant la méthode à des évaluations empiriques supplémentaires, et spécifiquement à une évaluation utilisant des données opérationnelles réelles.



*Figure 23. Exemple d'une entrée de la base de données. À gauche, une orthoimage d'origine. À droite, les régions d'intérêt sélectionnées automatiquement, sur lesquelles se superposent des symboles géométriques (cercle, ellipse, carré triangle) mettant en évidence un quadruplet qui correspond à une entrée de la base de données.*



*Figure 24. Exemple d'un échantillon vidéo. En haut, un cliché individuel du survol d'une partie de l'orthoimage représentée à la figure 1. Au centre, une mosaïque d'images de la vidéo aérienne. En bas, les régions d'intérêt sélectionnées automatiquement, sur lesquelles se superposent des symboles géométriques (cercle, ellipse, carré triangle) mettant en évidence la correspondance avec l'entrée de la base de données représentée à la figure 23.*

## 10.2 Lidar AVS pour la détection d'obstacles à l'intérieur d'aérosols

X. Zhu<sup>†</sup>, P. Church et M. Labrie

*Neptec Design Group Ltd*

*<sup>†</sup>Papier présenté (photographie ci-dessous)*



**Résumé :** La capacité de détecter des obstacles ou le sol à l'intérieur d'aérosols est une caractéristique très recherchée aux fins de nombreuses opérations par hélicoptère. Les pilotes d'hélicoptère ont besoin d'une aide visuelle pour assurer la sécurité en vol et à l'atterrissage en présence de voiles blancs qui peuvent être dus à des phénomènes météorologiques naturels comme le brouillard et les tempêtes de neige, ou à des nuages de neige circulaires produits par le souffle du rotor d'un hélicoptère. De même, les pilotes d'hélicoptère doivent voir les obstacles ou le sol lorsque des nuages de poussière sont soulevés par le souffle du rotor de l'hélicoptère à l'atterrissage sur un sol sablonneux. Le présent document décrit un dispositif lidar AVS spécialement conçu pour détecter des obstacles à l'intérieur d'aérosols aux fins de la manoeuvre d'hélicoptères.

Le système AVS (système visionique augmenté) est un système d'aide à la vision conçu pour aider les pilotes d'hélicoptère à naviguer dans des conditions météorologiques extrêmement mauvaises. L'un des aspects clés de l'AVS réside dans l'utilisation de capteurs actifs pour détecter des obstacles et « voir à travers » de mauvaises conditions météorologiques. Comme le lidar peut exploiter la fonction de commande de la discrimination temporelle afin de supprimer l'effet de diffusion par la poussière et le brouillard, il peut généralement « voir » plus loin que les capteurs passifs, par exemple l'oeil humain et les caméras IR; c'est un bon complément des capteurs passifs pour l'AVS. Les défis que pose l'utilisation du lidar en présence d'aérosols tiennent non seulement à la grande puissance laser nécessaire pour pénétrer les aérosols, mais aussi à la nécessité de disposer d'une haute dynamique de détection et de supprimer la diffusion par les aérosols devant le lidar. Bien que les lidars à éclats ou les caméras à commande laser puissent exploiter les fonctions de discrimination temporelle pour supprimer les signaux provenant des aérosols, leur puissance optique n'est en général pas suffisante pour pénétrer l'aérosol et couvrir une zone de taille raisonnable. Les lidars à balayage classiques ont été utilisés pour détecter des obstacles à l'intérieur d'aérosols avec un succès limité. Ils utilisent

normalement un système optique avec faisceau de départ et faisceau de retour co-alignés devant le dispositif optique de balayage. Par conséquent, le faisceau de retour provenant d'une cible est toujours renvoyé au récepteur quelle que soit la distance de la cible. La diffusion par l'aérosol devant une fenêtre lidar peut saturer le récepteur et interrompre ainsi le traitement des signaux.

Le lidar AVS de Neptec offre une conception optique autosynchronisée, utilisant une relation de triangulation pour fractionner le faisceau de retour qui sera accepté par le récepteur TOF (durée de trajet) en fonction de la distance de la cible. En outre, cette propriété se maintient lors du balayage optique à haute vitesse. Ainsi, le lidar AVS peut supprimer les signaux de retour dus à la diffusion proche par l'aérosol et, en même temps, il possède la sensibilité et la dynamique nécessaires pour détecter des obstacles ou le sol à l'intérieur de l'aérosol. Neptec a mené des expériences visant à étudier l'effet de diffusion des aérosols atmosphériques sur le lidar, le FLIR et la vision humaine en utilisant un corridor de propagation et d'évaluation des aérosols à RDDC Valcartier (Québec, Canada). Neptec a également effectué des essais en vol d'un concept de lidar AVS à bord d'un hélicoptère Bell 412 du CNRC près des rives du lac Crash, au nord d'Ottawa (Canada). Le présent document décrit ce concept de lidar AVS et ses applications; et étudie les résultats obtenus en ce qui concerne la pénétration des aérosols et la détection des obstacles.

## 10.3 Validation expérimentale d'un modèle paramétrique de LVN

Paul J. Thomas<sup>†\*</sup>, Sion Jennings\*\*, Todd Macuda\*\*, Robert S. Allison\*\*\*, and Richard Hornsey\*\*\*

*\*Topaz Technologies, Toronto*

*\*\*Institute for Aerospace Research, National Research Council of Canada, Ottawa*

*\*\*\*Centre for Vision Research, York University, Toronto*

*<sup>†</sup>Papier présenté (photographie ci-dessous)*



**Aperçu et but :** Dans le cadre des efforts visant à créer une imagerie synthétique réaliste, il importe de modéliser avec précision les fluctuations du signal de sortie des LVN pour un éclairage énergétique faible et uniforme. Le modèle de LVN a été conçu pour faciliter les comparaisons avec les expériences de laboratoire. Plus particulièrement, le modèle a créé des « images de LVN à faible signal » d'une scène, en examinant les taches photoniques une par une, à l'aide d'un traitement statistique de la génération de photoélectrons à la photocathode des LVN. Les statistiques temporelles et spatiales de cette imagerie synthétique pourraient être comparées en détail aux résultats des expériences de laboratoire. Les images LVN plus intenses ont été traitées comme étant la somme d'une séquence d'images à faible signal, où les paramètres des LVN pouvaient varier d'une image à l'autre. Cette méthode a permis de modéliser l'étalement du point (point optique et halo dans les LVN) et d'avoir un contrôle automatique du gain pratique pour les comparaisons avec les expériences. Dans le cadre de ces travaux, nous décrivons un modèle à faible signal ayant été utilisé pour créer des images synthétiques. Les images synthétiques ont ensuite été évaluées à l'aide de paramètres statistiques calculés à partir des images. Des comparaisons ont été faites pour les mesures en laboratoire, jusqu'au niveau du signal d'un photon unique. La probabilité de générer des photoélectrons à un point donné de l'espace et du temps présentait un intérêt particulier.

**Contexte :** Dans les simulateurs militaires, le nombre d'images par seconde et les caractéristiques de résolution spatiale peuvent limiter le temps disponible pour générer chacune des images d'un modèle de scène observé avec des LVN. On s'attend à ce qu'il y ait une diminution concomitante de la « fidélité » de l'image. Dans le cas des expériences psychophysiques, de petits effets

peuvent parfois donner lieu à un biais fortement non linéaire aux résultats, de sorte que l'on s'attend à ce que la « fidélité » de l'image soit importante. Par conséquent, il convient de s'assurer que les images synthétiques (obtenues à l'aide d'un simulateur) qui sont utilisées pour ces expériences sont exemptes d'anomalies spatiales ou temporelles qui seraient générées par le processus de simulation en lui-même. Il n'est pas nécessaire d'imposer des contraintes rigoureuses quant au nombre d'images par seconde ou à la résolution spatiale dans le « modèle de laboratoire » de la sortie LVN, et l'on peut ainsi prendre le temps requis pour modéliser avec précision les processus physiques à l'intérieur des LVN. Le processus de génération d'images qui simule de près les processus physiques qui se déroulent dans les LVN devrait permettre d'obtenir une meilleure « fidélité » qu'un générateur dans lequel la vitesse de fonctionnement ou d'autres paramètres constituent les critères de conception les plus importants.

Un exemple important est le bruit quantique du signal dû à l'arrivée aléatoire des photoélectrons (loi de Poisson). Les fondements physiques de la création d'un photoélectron isolé est bien connue. Si l'éclairement énergétique d'entrée est suffisamment faible, chaque canal de l'intensificateur d'images des LVN peut être examiné indépendamment. Ensuite, les signaux séquentiels dans un même canal peuvent être considérés comme étant suffisamment éloignés les uns des autres (en moyenne) pour pouvoir être traités isolément. Cette méthode repose sur l'hypothèse que la tache du photoélectron traverse les LVN très rapidement, comparativement au temps moyen entre les taches ou au temps de récupération d'un canal de LVN après chaque arrivée d'électrons de multiplication.

L'hypothèse du « faible signal » a été vérifiée pour des conditions d'éclairement lumineux courantes, en choisissant un intervalle suffisamment court (une « tranche de temps ») pour l'application du modèle. Le processus a été répété pour des tranches de temps subséquentes. Entre ces tranches, les conditions des LVN (p. ex. le gain) pouvaient être modifiées afin de s'ajuster aux effets physiques attendus. Les signaux lumineux associés à différentes tranches de temps ont été additionnés dans le but d'obtenir la sortie totale pour le temps d'intégration souhaité (p. ex. 50ms). Bien que cette méthode de modélisation de la sortie LVN soit facilement justifiable d'un point de vue physique, elle risque de nécessiter un temps de calcul considérable lorsque la tranche de temps est courte par rapport au temps d'intégration; c'est pourquoi la méthode n'est généralement pas utile pour la simulation en temps réel. Cependant, on s'attend à ce que le réalisme du modèle soit excellent et comparable aux expériences réalisées avec le signal le plus faible, soit la création d'un photoélectron unique. Des mesures de « réalisme » sont requises et elles doivent être vérifiables sur le plan quantitatif en laboratoire.

Des expériences physiques adéquates en laboratoire (par opposition aux expériences psychophysiques) peuvent valider ce genre de « modèle de tranche de temps » et aider à déterminer les paramètres de l'imagerie synthétique sur le plan statistique qui sont des indicateurs sensibles du comportement de modèle inapproprié. Une fois qu'un ensemble solide de paramètres aura été constitué, celui-ci pourra être appliqué à des affichages semblables du simulateur en vue d'identifier les anomalies potentielles.

### **Système d'évaluation en laboratoire:**

**a) Taches photoniques :** Pour mesurer les statistiques des images (hautement non uniformes) générées par les signaux lumineux faibles provenant d'une source uniforme, la réponse des LVN à un seul photon en « réimageant » une partie de l'écran fluorescent d'un LVN dans un

photomultiplicateur. Le bruit du photomultiplicateur a été facilement isolé du signal du LVN à la sortie de l'écran fluorescent à l'aide d'un seuil binaire appliqué à l'amplitude du signal. (Les moyennes et les demi-largeurs des deux distributions d'amplitude sont généralement très différentes.) Cette méthode a permis d'effectuer une mesure sensible de la réponse temporelle des LVN à des intensités lumineuses suffisamment faibles pour que les taches photoniques individuelles soient bien séparées dans le temps. Les expériences et le modèle de faible signal ont permis de mesurer les arrivées ponctuelles de photoélectrons et, pour cette raison, le modèle peut être comparé aux expériences, au niveau fondamental.

**b) Imagerie des halos :** Pour effectuer des mesures de la réponse spatiale de LVN à une source de lumière localisée, on a remplacé l'oculaire des LVN par une caméra et l'on a enregistré l'image de l'écran fluorescent (des LVN). L'amplitude de la source lumineuse pouvait être modifiée sur cinq ordres de grandeur en modulant la largeur d'impulsion.

**c) Comportement temporel :** Une configuration «sonde-pompe» de la source lumineuse dans les réglages de la caméra a été utilisée pour examiner le comportement temporel des paramètres LVN, en particulier le contrôle automatique du gain (CAG) à des intensités de signal plus élevées.

**Statistiques relatives aux taches photoniques :** Le photomultiplicateur a permis de mesurer la réponse des LVN à des taches dues à un seul photon avec une résolution temporelle supérieure à 10 microsecondes. La résolution spatiale était ajustable. Seule une zone contiguë de l'écran fluorescent des LVN était imagée à chaque instant. On a déterminé la constante de décroissance temporelle de l'écran fluorescent à partir de la décroissance temporelle des taches dues à un seul photon. Les histogrammes de l'intervalle de temps entre les taches et l'amplitude des événements ont permis de valider l'hypothèse voulant que le processus de photodétection suit la loi de Poisson dans les LVN et d'obtenir des données expérimentales destinées à des comparaisons sensibles des images modélisées avec les images obtenues par les LVN.

**Imagerie des halos et comportement temporel :** Une caméra numérique commerciale a été utilisée pour enregistrer la sortie d'un écran fluorescent de LVN en réponse à une source lumineuse dont la portée, l'ouverture et l'intensité pouvait être contrôlés avec précision. L'intensité moyenne a été modifiée avec précision en changeant le cycle de fonctionnement de la source lumineuse (DEL) qui fonctionnait en mode pulsé. L'instrument permettait de modéliser le halo. Une deuxième source lumineuse, synchronisée, a été employée pour régler le contrôle automatique du gain des LVN. En contrôlant la synchronisation des sources lumineuses, on a pu déterminer expérimentalement le comportement temporel du contrôle automatique du gain des LVN.

## References

---

### 10.4 Creating Day and Night: Past, Present and Future

- [1] Federal Aviation Administration, (1991). Airplane Simulator Qualification. Advisory Circular 120-40B.
- [2] Wientzel, K. C. (1995). An informative guide to qualification of flight simulators for commercial aircraft. AIAA Flight Simulation Technologies Conference, Baltimore, MD, Aug 7-10. AIAA Technical Papers (A96-39235 10-01), Washington, DC.
- [3] CAT, The Journal for Civil Aviation Training (2007). Annual Training Sourcebook (Issue 4). Halldale Media Group.
- [4] Federal Aviation Administration, (1995). Airplane Simulator Qualification. Advisory Circular 120-40C (Draft).
- [5] Killgore, J. I. (1989). The planes that never leave the ground. American Heritage of Invention & Technology, 4, p. 56-63.
- [6] Hollow, R. M. (1981). Optical fiber illumination system for visual flight simulation. NASA Contractor Report 3409.
- [7] Bowen, C. K., Maida, J. C., and Pace, J. C. (2006). Enhancing lighting techniques and augmented reality to improve human task performance. NASA Technical Paper TP-2006-213724.
- [8] Maida, J. C., Bowen, C. K., and Pace, J. (2007). Improving robotic operator performance using augmented reality. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 51st Annual Meeting, p. 1635-1639.
- [9] Watson, A. B. and Ahumada, A. J., Jr. (2004). The spatial standard observer. Journal of Vision, 4(8), 51a, <http://journalofvision.org/4/11/2/>.
- [10] Sweet, B. T. (2006). Visual cueing for vehicular control. Presented at the AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference (Motion Cueing Workshop), Keystone, CO, Aug 22.
- [11] Sweet, B. T. and Kaiser, M. K. (2006). Integration of size and binocular disparity visual cues in manual depth-control tasks. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Keystone, CO, Aug 21-24. AIAA Technical Papers (AIAA 2006-6628), Washington, DC.

## **10.5 Development of a DVIcompatible VGA projector engine based on Flexible Reflective Analog Modulators (FRAM)**

- [12] F. Picard et al, "MEMSbased light valves for ultrahigh resolution projection displays", Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference proceedings, 2002.
- [13] F. Picard et al, "Flexible micromirror linear array for high resolution projection display", MOEMS Display and Imaging Systems, H. Urey, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 4985, pp. 4455, 2003.
- [14] F. Picard et al, "Recent advances in a linear micromirror array for highresolution projection", Liquid Crystal Materials, Devices, and Applications X and Projection Displays X, LiangChy Chien, Ming H. Wu, Editors, Proceedings of SPIE Vol. 5289, pp. 284293, 2004.
- [15] M. Doucet et al, "Operation modes for a linear array of optical flexible reflective analog modulators", Cockpit and Future Displays for Defense and Security, Darrel G. Hopper, Eric

## **10.6 Brightness and contrast of images projected by laser based video projectors**

- [16] Nicodemus, F. E. (1965). Directional reflectance and emissivity of an opaque surface. *Applied Optics*, 4 (7), 767-773.
- [17] Boynton, P.A. and Kelley, E.F. (2001) 21.4: Compensation for stray light in projection display metrology. *Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers*. 32 (1), 334-337. Boston MA, May 11-17, 1997.

## **10.7 Detection threshold of visual displacement in a networked flight simulator**

- [18] Toet, A. (1995). Perceptual Issues of DIS Quality (Report TNO-TM 1995 A-43). Soesterberg, NL: TNO Human Factors Research Institute.
- [19] Lin, K., Wang, M., Wang, J., & Schab, D. (1995). The smoothing of dead reckoning image in distributed interactive simulation. Proceedings of the 1995 American Institute of Aeronautics and Astronautics Flight Simulation Technologies Conference, 83-87.
- [20] MetaVR, Inc. (2007). MetaVR Virtual Reality Scene Generator™ (VRSG™) Version 5.2 Users Guide, Brookline, MA.
- [21] Boff, K.R., Kaufman, L., Thomas, J.P. (Eds.), Handbook of Perception and Human Performance, section 1.602, John Wiley & Sons, NY, 1988, 198-200.

## 10.8 Video-to-reference image indexing

- [22] L. Brown, A survey of image registration techniques. *ACM Computing Surveys* 24 (2), 325-376, 1992.
- [23] R. Wildes, D. Hirvonen, S.Hsu, T. Klinedinst, R. Kumar, B. Lehman, B. Matei and W.Zhao, Video georegistration: Algorithm and quantitative evaluation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2001.
- [24] A. Smeulders, T. Huang and T. Gevers (Eds.) Special issue on content-based image retrieval, *International Journal of Computer Vision* 1-2, 2004.
- [25] Autopano, <http://www.autopano.net>, accessed August 2007.
- [26] P. Felzenszwalb and D. Huttenlocher, Image segmentation using local variation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1998.
- [27] Y. Landman, J. Schwartz and H. Wolfson. Affine invariant model-based object recognition. *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 6(5), 578-589, 1990.

This page intentionally left blank.

## **Annex A Authors' Biographies**

---

### **A.1 Francis Picard**

Francis Picard received a B.Sc.A. in Physics Engineering and a M.Sc. in Physics from Laval University. For the past 18 years, he has been working at the National Optics Institute (INO) as a researcher working on thin film technology, microbolometer arrays for infrared imaging and Microsystems, including micromirrors for various applications such as projection display and laser beam shaping. He is currently the manager for the optical MEMS program at INO.

### **A.2 Michel Doucet**

Michel Doucet received a BSc degree in physics in 1988 from Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) and a MSc degree in physics (optics) in 1991 from Université Laval, Québec, Canada. He is a researcher at the National Optics Institute (INO) since 1991 where he has contributed to the development of many optical devices, including the optical design of zoom lenses, military IR lenses, and astronomical instruments. He has also been involved in the development of biomedical instruments, many sensors (3D and image) for road inspection and devices based on deformable micro-mirrors. His main research interests are in the area of optical design.

### **A.3 Jeff Clark**

Jeff Clark has been active in the physics-based simulation arena for thirteen years. During that time, he served in technical and project management capacities at Accurate Automation Corporation, Hughes Aircraft, Raytheon, and L-3 Communications. Today, Mr. Clark represents Renaissance Sciences Corporation, a private government services firm, where he serves as President and oversees AFRL and NAVAIR 6.3 through 6.5 research programs at the company. Mr. Clark completed a bachelor of science in computer science from Radford University and the general aviation curriculum and private pilot certificate at the University of North Dakota Aerospace. Jeff and his family of four reside in Chandler, Arizona.

Mr. Clark has supported, as a contractor, the Night Operations Center of Excellence, Air Force Research Laboratory, Mesa, Arizona continuously since February, 1996 where he managed the software development of the NVTs, SensorHost, and other government technology products that have come out of the AFRL NVG program. More recently Mr. Clark and the RSC team supported the AFRL NVG image generation prototyping activity associated with Phase I of the ADDNS program.

### **A.4 Robert Wolfe**

Robert is a 1986 UBC graduate of Engineering Physics. He received a Master's degree in Electrical Engineering, specializing in image processing, from Laval University in 1996. He has been contracted to Laval University, DRDC Valcartier, DRDC Toronto, and Serenica Technologies Inc. over the last 15 years.

In Quebec, he was a key member of the lauded DRDC Valcartier PASSPORT project for multi-platform search and rescue software. In Toronto, Robert extended horizons in visual networked simulation to include virtual reality based ship, helicopter and dismounted infantry, and wider scale international research wargaming such as CMTR and NATO FirstWave exercises. Most recently, he has taken on the role with Serenica of integration engineer for the ADDNS project.

He has also dabbled in sailboat construction, geological exploration, and synthetic crystal growth for optics, acoustics, and laser. Robert enjoys hockey, cycling, music, and experimental theatre.

## **A.5 Ray Obidowski**

Ray M. Obidowski received a B.Sc. Degree with high distinction from the University of Toronto in 1991. He obtained a M.Sc. degree (1993) in Geomatics Engineering from the University of Calgary, as an NSERC scholar. His studies specialized in the area of precise 3D close-range measurement systems and technology. Ray became a Professional Engineer (P.Eng.) in 1997, and a Project Manager Professional (PMP) in 2006. Ray has over four years of simulation and modelling project management experience at Array Systems Computing. He is currently the project manager for a contract in Geographic Terrain Database Tools programming and integration. He is also the technical leader for projects involving support for human factors experiments, flight simulation visualization, and ADDNS Image Generator (IG) integration. Prior to joining Array Systems, Ray managed research, development and testing of a 3D laser radar (lidar) system at Metric-Vision Inc., in Virginia, USA.

## **A.6 Christine Covas**

Christine M. Covas is an Associate Research Psychologist in the Visual Systems Research Laboratory at the Air Force Research Laboratory in Mesa, Arizona. Her research focuses on visual perception, particularly as it relates to display technologies for simulation and training applications. She is in pursuit of a Ph.D. in Psychology from Arizona State University and holds a M.S. (2005) and B.S. (2003) in Applied Psychology from Arizona State University Poly.

## **A.7 James Gaska**

Dr. James P. Gaska is a Senior Scientist with Link Simulation and Training working at AFRL in Mesa, Arizona. Dr. Gaska received a Ph.D. degree in Biopsychology from Syracuse University in 1981. From 1981 to 2000, Dr. Gaska used single cell electrophysiological and computational techniques to explore and model the representation of the world in the visual cortices of primates. From 1995 to present, Dr. Gaska has worked as contractor to the Air Force and used vision science and visual performance models to aid in the design of camouflage, laser eye protection and, currently, flight simulation technologies.

## **A.8 Avi Parush**

Avi Parush's professional career in human factors engineering (HFE), usability engineering, and human-computer interaction (HCI) spans over 20 years. He has been involved in user-interface

design and testing in a large variety of domains and projects. Parush is the founder and editor in chief of the Journal of Usability Studies. His academic background is in cognitive-experimental psychology and he is presently a professor of psychology at Carleton University, Ottawa. His main research focus are on spatial cognition, way-finding and orientations theories and systems, simulator-based learning and training, and the application of human factors and usability approaches and principles in the healthcare system with the aim of reducing errors and increasing safety.

## **A.9 Robert Allison**

Robert Allison is interested in basic and applied aspects of stereoscopic depth perception. His areas of expertise are the psychophysical and computational investigation of depth perception, analysis of eye movements, and perceptual issues in human spatial orientation and virtual reality systems. He is currently an Associate Professor at York University (Toronto Canada) in the department of Computer Science and Engineering with appointments at the Centre for Vision Research and the graduate program in Psychology. He received his B.A.Sc. in Computer Engineering from the University of Waterloo, an M.A.Sc. in Biomedical Engineering from the University of Toronto and his Ph.D. in Biology from York University.

## **A.10 Don Donderi**

Don Donderi is a co-founder and Principal Consultant of Human Factors North, Inc., a Toronto-based Human Factors and Ergonomics Consulting Firm. He is also an associate professor in the department of psychology at McGill University, Montreal. While in graduate school during the cold war, he worked at IBM in the United States on the visual perception demands of aerial reconnaissance. After graduating with a doctorate in experimental psychology from Cornell University in 1962, he joined the Psychology Department of McGill University in Montreal. In 1982 he co-founded Human Factors North, a Toronto-based human factors/ergonomics consulting firm. Since then he has worked with private companies and civil and military agencies involved with flight simulation, marine navigation, rail transport, road transport, air traffic control, nuclear power, and marine search and rescue. He has carried out field research on marine navigation and on search and rescue in the Canadian Arctic and in the Atlantic Ocean, in cooperation with the Canadian and US Coast Guards and the Canadian Department of Transport. He has designed wheelhouses for Canadian Coast Guard cutters. He has carried out research work and literature reviews on marine navigation displays for Defence Research and Development – Toronto. His work has been reported in peer-reviewed scientific journals, at scientific and technical conferences and in many technical reports. In 2004, his work on marine integrated navigation displays was published in *Displays* and *Journal of Navigation*, and in 2006 he wrote a comprehensive review of visual complexity published in *Psychological Bulletin*.

## **A.11 Vitaly Zholudev**

Mr. Vitaly Zholudev received BSc Honours and Masters degrees in computer science from York University in Toronto in 2004 and 2006, respectively. As part of his MSc work, Mr. Zholudev produced a thesis titled, Toward Video to Geospatial Reference Image Indexing. Since 2004, Mr. Zholudev has been a member of the Computer Vision Laboratory at York University, from 2004-

2006 as graduate student and from 2006-present as a full-time research associate. His research interests include computer vision, in particular image registration and indexing.

## **A.12 X. Zhu**

X. Zhu is the principal optical engineer at Neptec. He received a M.Sc. in physics from Queen's University at Kingston, Canada in 1992 and a Ph.D. in engineering physics from McMaster University at Hamilton, Canada in 1996. He worked as an opto-electronic device designer at Perkin-Elmer and as an instrumentation designer at JDS Uniphase before joining Neptec.

Zhu has published numerous papers in Applied Optics, IEEE Photonics Technology Letters, Journal of the Optical Society of America and SPIE proceedings in laser technology and applications. He holds a number of patents including Neptec patents on optical design of LMS (laser metrology system) and TriDAR scanner.

## **A.13 Paul Thomas**

Dr Paul J. Thomas (PhD, Physics, 1977) is the president of Topaz Technology Incorporated, a consulting and R&D firm in Toronto. His interests include NVD and the application of lasers and imagers to 3D remote sensing.

# **UNCLASSIFIED**

<b>DOCUMENT CONTROL DATA</b> (Security classification of the title, body of abstract and indexing annotation must be entered when the overall document is classified)		
<b>1. ORIGINATOR</b> (The name and address of the organization preparing the document, Organizations for whom the document was prepared, e.g. Centre sponsoring a contractor's document, or tasking agency, are entered in section 8.)  Publishing: DRDC Toronto Performing: DRDC Toronto Monitoring: Contracting:		<b>2. SECURITY CLASSIFICATION</b> (Overall security classification of the document including special warning terms if applicable.)  <b>UNCLASSIFIED</b>
<b>3. TITLE</b> (The complete document title as indicated on the title page. Its classification is indicated by the appropriate abbreviation (S, C, R, or U) in parenthesis at the end of the title)  <b>A summary of proceedings for the Advanced Deployable Day/Night Simulation Symposium (U) (U)</b>		
<b>4. AUTHORS</b> (First name, middle initial and last name. If military, show rank, e.g. Maj. John E. Doe.)  <b>Keith K. Niall (Editor)</b>		
<b>5. DATE OF PUBLICATION</b> (Month and year of publication of document.)  <b>July 2009</b>	<b>6a NO. OF PAGES</b> (Total containing information, including Annexes, Appendices, etc.)  <b>114</b>	<b>6b. NO. OF REFS</b> (Total cited in document.)  <b>27</b>
<b>7. DESCRIPTIVE NOTES</b> (The category of the document, e.g. technical report, technical note or memorandum. If appropriate, enter the type of document, e.g. interim, progress, summary, annual or final. Give the inclusive dates when a specific reporting period is covered.)  <b>Technical Report</b>		
<b>8. SPONSORING ACTIVITY</b> (The names of the department project office or laboratory sponsoring the research and development – include address.)  Sponsoring: Tasking:		
<b>9a. PROJECT OR GRANT NO.</b> (If appropriate, the applicable research and development project or grant under which the document was written. Please specify whether project or grant.)  <b>16bg</b>		<b>9b. CONTRACT NO.</b> (If appropriate, the applicable number under which the document was written.)
<b>10a. ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER</b> (The official document number by which the document is identified by the originating activity. This number must be unique to this document)  <b>DRDC Toronto TR 2009–121</b>		<b>10b. OTHER DOCUMENT NO(s).</b> (Any other numbers under which may be assigned this document either by the originator or by the sponsor.)
<b>11. DOCUMENT AVAILABILITY</b> (Any limitations on the dissemination of the document, other than those imposed by security classification.)  <b>Unlimited distribution</b>		
<b>12. DOCUMENT ANNOUNCEMENT</b> (Any limitation to the bibliographic announcement of this document. This will normally correspond to the Document Availability (11). However, when further distribution (beyond the audience specified in (11) is possible, a wider announcement audience may be selected.)  <b>Unlimited announcement</b>		

**UNCLASSIFIED**

# **UNCLASSIFIED**

## **DOCUMENT CONTROL DATA**

(Security classification of the title, body of abstract and indexing annotation must be entered when the overall document is classified)

13. **ABSTRACT** (A brief and factual summary of the document. It may also appear elsewhere in the body of the document itself. It is highly desirable that the abstract of classified documents be unclassified. Each paragraph of the abstract shall begin with an indication of the security classification of the information in the paragraph (unless the document itself is unclassified) represented as (S), (C), (R), or (U). It is not necessary to include here abstracts in both official languages unless the text is bilingual.)

(U) The Advanced Deployable Day/Night Simulation Technology Demonstration Project was initiated to design, develop, and deliver transportable visual simulations that jointly provide night-vision and high-resolution daylight capability. The project includes research and development on deployable display technologies for realistic day and night training operations, extends the knowledge of human factors with night vision devices, and the ability to represent dangerous or extreme scenarios for day and night operations in general. On November 13th and 14th 2007 the Advanced Deployable Day/Night Simulation Technical Demonstration Project held a symposium at Defence Research Development Canada in Toronto. Many contributions were made by professionals in the fields of human factors, image generation, projection technologies, and photogrammetry. The abstracts of papers presented at the symposium are in this technical report, in both official languages.

The intent of this effort is to aid operational readiness by advancing the visual simulation capabilities of training simulators so that they can be deployed for mission rehearsal. This objective can be achieved by developing high-resolution, multi-spectral visual simulation capabilities that integrate advancements of laser projection technology, and physics-based modelling of night vision devices with terrain representations that can incorporate reconnaissance data.

(U) Le Projet du simulateur déployable avancé pour la vision de jour et de nuit (projet de démonstration de technologie) prévoit la conception, le développement et la livraison d'un simulateur transportable qui fournira à la fois une capacité de vision nocturne et une capacité d'affichage diurne de haute résolution. Ce projet comprend des travaux de recherche et de développement sur la technologie des systèmes d'affichage déployables pour des opérations d'entraînement réaliste de jour et de nuit et augmente les connaissances de l'ergonomie relativement aux appareils de vision nocturne ainsi que la capacité de représenter des scénarios dangereux ou extrêmes pour les opérations de jour et de nuit en général. Les 13 et 14 novembre 2007, les responsables du Projet du simulateur déployable avancé pour la vision de jour et de nuit ont tenu un symposium à Recherche et développement pour la défense Canada – Toronto. De nombreuses présentations ont été faites par des professionnels dans les domaines suivants : ergonomie, production d'images, technologies de projection et photogrammétrie. Les résumés des présentations qui ont été faites pendant le symposium se trouvent dans le présent rapport technique, dans les deux langues officiels.

L'oeuvre présent vise à améliorer l'état de préparation opérationnelle en perfectionnant les capacités de simulation visuelle des simulateurs destinés à l'entraînement de sorte qu'ils puissent être utilisés pour les répétitions en vue d'une mission. La réalisation d'un tel objectif passe par le développement de capacités de simulation visuelle multi spectrale à haute résolution intégrant les progrès réalisés dans les domaines de la technologie de projection laser, et de la modélisation des dispositifs de vision nocturne basée sur la physique avec des représentations de terrain qui pourraient comprendre des données de reconnaissance.

14. **KEYWORDS, DESCRIPTORS or IDENTIFIERS** (Technically meaningful terms or short phrases that characterize a document and could be helpful in cataloguing the document. They should be selected so that no security classification is required. Identifiers, such as equipment model designation, trade name, military project code name, geographic location may also be included. If possible keywords should be selected from a published thesaurus, e.g. Thesaurus of Engineering and Scientific Terms (TEST) and that thesaurus identified. If it is not possible to select indexing terms which are Unclassified, the classification of each should be indicated as with the title.)

(U)

ADDNS ; high resolution; displays; night vision; simulation; night vision simulation; flight simulation; photogrammetry; light valve; image generator; video indexing

**UNCLASSIFIED**

## **Defence R&D Canada**

Canada's Leader in Defence  
and National Security  
Science and Technology

## **R & D pour la défense Canada**

Chef de file au Canada en matière  
de science et de technologie pour  
la défense et la sécurité nationale



[www.drdc-rddc.gc.ca](http://www.drdc-rddc.gc.ca)

